

211517

藏書

自动武器设计原理

下 册

Э. А. 戈洛夫 著



国防工业出版社

35

554
5/5335
1.2

自动武器设计原理

下 册

Э. А. 戈洛夫 著
馬宗明譯、劉學昌校



F34421



国防工业出版社

內 容 簡 介

本書是Э. А. 戈洛夫著「自动武器設計原理」的續篇，書中探討了一些自动武器理論研究方面的新問題，最后并列举了計算两种自动武器之自动机的实例。本書可供从事自动武器設計研究的工程技术人員閱讀，也可供有关大專教師学生參考。

蘇聯 Э. А. 戈洛夫著 Основания проектирования автоматического оружия (Москва 1955年)

國防工業出版社

北京市書刊出版業營業許可証出字第074号
机械工业出版社印刷厂印刷 新华書店發行

850×1168 $1/32$ 印張 5 $5/61$ 134千字

1958年12月第一版

1958年12月第一次印刷

印數：0,001—4,200册 定價：(11) 1.10元

№ 2537

統一書號15034·272

目 录

序言.....	4
第一章 自动机工作与弹性缓冲器工作的相互影响.....	5
§ 1 自动武器缓冲器的工作特性	5
§ 2 自动武器缓冲器工作的近似研究法	28
§ 3 武器缓冲对自动机工作的影响	47
第二章 自动武器的射击稳定性.....	53
§ 1 射击时武器稳定性的概念	53
§ 2 自动机各部分的撞击对射击时自动武器稳定性的影响	55
§ 3 自动机各部分的平稳运动对射击时自动武器的稳定性的影响	76
§ 4 射击时手提式武器稳定性计算示例	88
第三章 自动机计算示例.....	99
§ 1 导气式自动机的计算 (德普式)	100
§ 2 枪管后座式自动机的计算 (MG-42)	118

序 言

本書的各章是“自动武器設計原理”教程（1954年版，З. А. 戈洛夫）的补充。

第一章是討論与設計自动武器緩冲器以及与研究緩冲器工作和自动机工作相互影响有关的各种問題。

第二章是研究考虑到自动机工作的影响时有关保証自动武器在射击时的稳定性的一些基本問題。

这两章所叙述的都是自动武器理論研究方面的一些比較新的問題，所以說單獨出版这一本書是合适的。

在第三章中列举了利用自动武器設計原理一書中的基本理論計算两种类型的自动武器的自动机的例题。

本書中所叙述的許多問題还处在研究阶段，因此，不能苛求本書內容所討論的結論皆是全面而完备的。

作者以感謝的心情接受对本書內容及講述方法所提出的全部意見。

第一章 自动机工作与弹性缓冲器工作的相互影响

§1 自动武器缓冲器的工作特性

1 武器缓冲器的作用原理

口径比较大的武器（大口徑机枪和自动炮的出現）的自动化大大地增强了减小后座对槍架或槍座的作用的意义。

为了减小后座作用，目前广泛地应用了各种不同的缓冲装置，这些缓冲装置能够使武器在射击时沿槍膛軸綫方向移动。

通常由弹性元件（彈簧）組成的缓冲装置是武器本身不可缺少的一部分并與武器同时設計。

缓冲装置或缓冲器通常对自动机的工作有很大的影响，而自动机的工作也决定着武器在缓冲时的运动。因此，对自动武器自动机的工作和缓冲器的工作必須同时加以研究。

利用自动机計算法可以研究自动机工作和缓冲器工作的相互影响。

利用这些方法能够确定缓冲器工作时武器的运动規律。由此，可以評价所取的缓冲器特征数是否适宜并对这些特征数做适当的修正之后可以获得最有利的缓冲器工作条件和自动机工作条件。

評价自动武器缓冲器的有利性时应该考虑到缓冲器工作对射击精度的影响，对自动机工作可靠性的影响和对射击时武器操作方便的影响。

为了获得良好的射击精度，对缓冲器应该提出下列要求：保証后座沿槍膛軸綫的方向；减小后座定向滑板的間隙；消除武器在后座和复进时对槍架或槍座的撞击；保証槍架或槍座有良好的

稳定性能和减小枪架的变形，因枪架的变形会使武器偏离所赋予的射向。

設有緩冲器的現代槍架或槍座有定向裝置，因此，武器的后座方能沿槍膛軸綫的方向進行。

减小定向滑板的間隙通常是通过确定适当的配合和应用各种补偿器的方法来达成。减小定向滑板間隙对射击精度的影响是利用增大定向板和某些結構元件之間的距离的方法来获得。

消除在后座和复进时武器对槍架或槍座的撞击通过下述方法来达成：选择合适的緩冲器特征数，設置專用的緩冲垫以及对緩冲器的工作和自动机的工作加以特殊配合而使武器复进击發。

槍架或槍座的穩定性取决于作用于其上的緩冲器后座力的大小和变化情形；选择适当的緩冲器工作特征数可以保证稳定性。

上面已講过，在評價緩冲器的工作时，除保证良好的武器射击精度外，还必须考虑到保证自动机工作的可靠性以及射击时武器操作的方便。

为了保证彈鏈供彈机构的可靠性，通常必須使整个武器的后座量不超过所規定的范围并且使整个武器在最小的加速度情况下运动。当武器的后座量很大时，带动彈鏈是很困难的，并且不能保证供彈机构可靠地工作。

考虑武器操作方便的要求通常归结于限制武器后座量，因为后座量不很大的时候便于利用瞄准装置和發射机构。

評價自动武器緩冲器工作时，还必须考虑到緩冲器工作循环時間，該時間在連發射击时不应该大于自动机工作循环時間。

自动武器緩冲器工作条件影响着武器的运动以及作用于槍座上的作用力的变化性質。

評價緩冲器工作时武器的运动和作用于槍座上的作用力的变化性質的时候，主要應該考虑最大的后座長度，作用于槍座上的最大作用力和緩冲器工作循环時間。

緩冲器工作的这三个基本特征数是互相关連的。緩冲器最有

利的工作条件通常决定于它們之間最有利的配合。

为了从原理方面說明緩冲器工作的这些特征数的相互影响，我們来研究一个最簡單的武器緩冲略圖(圖1)，圖上所示的是与彈性体相連接的物体的平移和直綫运动，在該物体上作用着冲量負荷。該略圖相当于非自动武器的緩冲，并假設与緩冲器相連接的武器本身振动周期比作用于膛腔底部上的火藥气体压力增長時間大得多。



圖1 后座时非自动武器运动略圖。

就圖1中所示的略圖来講，可以得出确定后座時間，后座

長度和后座开始时的最大速度之間的簡單公式。

实际上，如果后座时武器压缩緩冲器彈簧，那么，后座時間可以根据下一公式求出：

$$t_{or} = \frac{1}{p} \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{f_1}{f_2} \right), \quad (1)$$

式中 f_1 和 f_2 ——緩冲器彈簧預壓度和終壓度；

p ——与緩冲器相連接的武器的自由振动頻率。

如果用 $\frac{f_1}{f_2} = a$ 表示压缩度之比，則后一公式可写为：

$$t_{or} = \frac{1}{p} \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin a \right). \quad (2)$$

此公式中的自由振动圓周頻率 p 可以初速 V_0 和整个后座長 λ 来表示，因为

$$\frac{MV_0^2}{2} = \frac{\eta \lambda (2f_1 + \lambda)}{2},$$

但

$$p^2 = \frac{\eta}{M},$$

因而，

$$\frac{1}{p^2} = \frac{\lambda (2f_1 + \lambda)}{V_0^2} = \frac{\lambda^2}{V_0^2} \frac{(1+a)}{(1-a)}, \quad (3)$$

式中 M ——后座部分質量；

V_0 ——后座部分的初速。

把后一公式代入公式(2)，則得：

$$t_{or} = \frac{\lambda}{V_0} \sqrt{\frac{1+a}{1-a}} \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin a \right). \quad (4)$$

这一公式又可以写成

$$t_{or} = \Phi \frac{\lambda}{V_0}, \quad (5)$$

式中 $\Phi = \sqrt{\frac{1+a}{1-a}} \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin a \right)$ 。

系数 Φ 的值仅取决于缓冲器弹簧的预压度和终压度，亦即取决于 a 值之大小。

如果 $a = \frac{1}{2}$ ，

则 $\Phi = \sqrt{3} \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{1}{2} \right) = 1.81$ 。

如果缓冲器工作时弹簧没有预压，那么 $f_1 = 0$ 和 $a = 0$ 。在这种情况下，

$$\Phi = \frac{\pi}{2} = 1.57。$$

如果缓冲器的阻力是一常量，那么对于弹簧缓冲器来讲，这将符合于当弹簧预压度非常大并且预压度和终压度之比等于 1 ($\frac{f_1}{f_2} = 1$)，亦即 $a = 1$ 时的情况。

当 a 等于此值时， Φ 的公式不定，因为分子 $\frac{\pi}{2} - \arcsin 1$ 和分母 $\sqrt{1-a}$ 皆等于零。

解此不定式，则得：

$$\lim_{a \rightarrow 1} \frac{\frac{\pi}{2} - \arcsin a}{\sqrt{1-a}} = \frac{\left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \right)'(a)}{(\sqrt{1-a})'(a)} = \frac{2\sqrt{1-a}}{\sqrt{1-a^3}}。$$

因而，当 $a = 1$ 时

$$\Phi = \frac{2\sqrt{1+a}\sqrt{1-a}}{\sqrt{1-a^3}} = 2。$$

关系式 $\Phi = f(a)$ 示于图 2。利用求系数 Φ 的关系式和公式 (5)，便可以对各种不同的弹簧缓冲器工作条件求出确定缓冲器工作的各基本参量之比，即 V_0 ， λ 和 t 的值。

为了求出作用于枪座上的最大力，可以利用下一公式：

$$H = f_2 \eta,$$

式中 η —— 缓冲器弹簧刚度系数。

该式可以化成下一形式

$$H = \frac{\eta \lambda}{1-a}.$$

但，前面求得的 $\frac{1}{\rho^2}$ 公式的形式是：

$$\frac{1}{\rho^2} = \frac{M}{\eta} = \frac{\lambda^2}{V_0^2} \frac{1+a}{1-a},$$

由此

$$\frac{\eta \lambda}{1-a} = \frac{M V_0^2}{\lambda(1+a)}. \quad (6)$$

利用后一等式，则得：

$$H = \frac{M V_0^2}{\lambda(1+a)} = \frac{I}{M \lambda(1+a)}, \quad (7)$$

式中 I —— 产生后座的冲量。

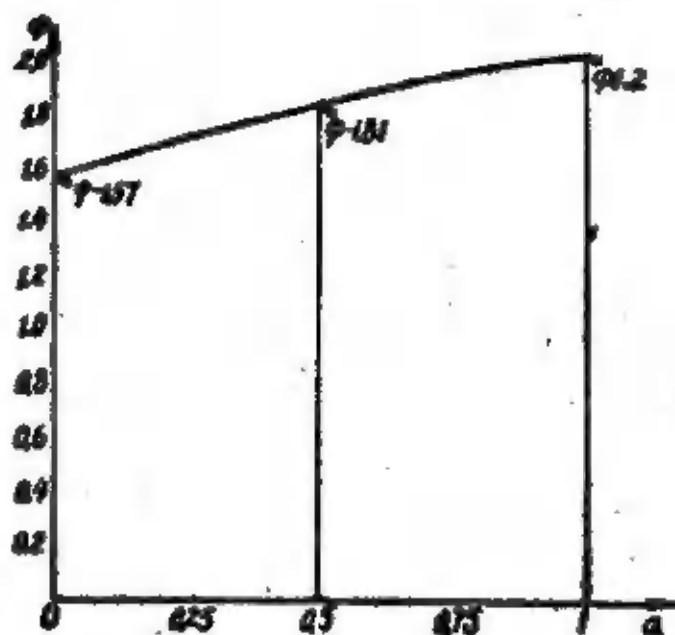


图2 关系式 $\phi = f(a)$ 图解。

后一公式表示出力 H 与缓冲器弹簧预压度和移压度之比 a ，后座长度 λ 和后座部分质量 M 的关系。

为了求出作用在枪座上的最大力与后座时间和缓冲器弹簧预

壓度和終壓之比的关系，可利用公式（5）并对速度求解之后，代入公式（7）。

进行了这些演算之后，則得：

$$\Pi = \Phi \frac{1}{t_{or}(1+\sigma)} \quad (8)$$

此公式說明了作用在槍座上的最大力与后座時間的关系。

應該指出，公式（8）在原則上与公式（7）是沒有区别的，因为后座時間与武器質量和后座長度有下面的簡單关系：

$$t_{or} = \Phi \frac{\lambda}{V_0} = \Phi \frac{\lambda M}{M V_0} = \Phi \frac{\lambda M}{l} \quad (9)$$

从所得的公式中可得出結論：如果后座長不变，則变更緩冲器彈簧的剛度和預壓度，后座時間只在不大的范围变化；如果后座時間不变，則彈簧剛度和預壓度变更时后座長亦在不大范围内变化。

同样可以确定，当后座時■不变时，后座阻力变化愈小，■座長就愈小。

利用所求得的公式能够对比作用在槍座上的緩冲器彈簧■最大力。显然，当后座阻力一定时（各种不同的后座長情况下）作用在槍座上的最大力比之当阻力做直綫变化时（后座开始时此阻力等于零）作用在槍架上的最大力小二分之一。还可以指出，当后座時間不变时对于这两种極限情况下緩冲■彈簧力变化来■，作用在槍架上的最大力之比等于 $\frac{\pi}{2}$ 。

所进行的研究表明，最好选择这样的緩冲器彈簧特征数，■使■值接近于1，也就是后座时阻力变化較小。这只能通过增大彈簧預壓力和减小彈簧剛度系数来达成。然而，这必然会使彈簧■尺寸增大，并使得■冲器的配合条件变坏。■此，在設計緩冲器彈簧■的实践过程中，通常选择彈簧預壓度是从便于装配和■合这些彈簧出發的。

所有求得的关系式都关系着武器的后座。如果除了緩冲器彈簧彈力外，在緩冲器工作时沒有其他任何力作用在武器上，那么研

究复进时武器的运动同后座时一样。同时，后座时 Π 等于武器的复进时间 \bullet 。

在另种情况下，即除了缓冲器的弹簧力外，尚有某些常阻力时，则对武器运动的研究原则上与上述无区别。因为考虑到常阻力时只是影响引入计算公式中的缓冲器弹簧预压度的大小和比值。在这种情况下复进时间大于后座时间。

如果 $\frac{t_{07}}{t_{av}} = b$ 表示后座时间与缓冲器工作的全时间之比，那么各种阻力愈大（缓冲器弹簧力除外）该值就愈小。 b 值的减小，也就是后座时间的减小必然会导致作用在枪架或枪座上力增大。

因此，为了减小这些力，除了缓冲器弹簧力外最好消除各种阻力。但同时应该考虑到减小各种阻力与增大复进结束时武器的动量是相关联的。如果不采取措施来防止撞击的话，则武器复进到位时会产生大的撞击。

设置专用的前方缓冲垫或采用武器复进击发，可消除武器复进到位时的撞击。后一种方法通常是一种减小后座作用的非常有效的办法。

我们来看一下，应用复进击发减小武器后座作用之效果。通常，阐明复进击发效果时利用比较武器自由后座能量的方法，从而得出应用复进击发时的自由后座能量与没有应用复进击发时的武器自由后座能量比较时的最大可能的减小量（三分之一）。

在减小作用于枪座上的作用力方面的武器复进击发效果，不考虑缓冲器工作时 Π 可以用公式（7）表示

$$\Pi = \frac{P}{M\lambda(1+a)} \quad (10)$$

，在最有效的复进击发时，后座开始时作用在武器上的冲量减小二分之一。因而，当 M ， λ ， a 量不变时 Π 力减小四分之三。

利用公式（9），可以说明，在这种情况下，缓冲器工作时

● 如果不考虑缓冲器弹簧变形时机械能的损失。

■增加一倍。

为了判■一下当緩冲器工作時間不变时的复进击發效果，應該利用公式（8）

$$\Pi = \Phi \frac{I}{\cos(1 + \alpha)} \quad (11)$$

公式（11）表明，当冲量 I 减小二分之一时， α 值不变則作用于槍座上的力减小二分之一。同时后座量也减小二分之一。后一种情况可以根据公式（10）来証明，从公式中可以得出結論：当冲量 I 和力 Π 各减小二分之一时（ M 和 α 值不变）后座量也减小二分之一。因此，应用武器复进击發在該种情况作用于槍座上的力与沒有复进击發时作用力相比較时仅减小二分之一。同时，后座長也减小二分之一。

上述关于武器复进击發效果的見解在評價自动武器复进击發适用性时是有很大的意义的。因为自动武器緩冲器工作循环時間是受自动机工作循环的时间限制的，而自动武器后座長与自动机工作可靠性有关。

在圖 3 的圖解上表明作用于槍座上力的变化和以時間为函数的武器座标。（ a ）表示武器不复进击發时緩冲器工作的情况，（ b ）表示武器复进击發而后座長不变时緩冲器工作的情况，（ c ）表示緩冲器工作時間不变的情况。圖解中条綫面积以某一定比例代表發射时作用于武器上的冲量。此冲量作用的■間在圖解上以点 i 表示之。

圖解（圖 3）說明了应用复进击發来减小武器后座对槍座的作用的实質并說明了在有武器复进击發和沒有武器复进击發的条件下■冲器工作时作用于槍座上的力的变化情形。特别是，这些圖解也說明了，复进击發时，后座对槍座的作用是在發射前开始的（武器复进击發开始时）。

所討論的最簡單的緩冲器工作圖和所得出的关系式符合于非自动武器緩冲器的作用和那些自动机工作对緩冲器工作沒有很大影响的自动武器緩冲器的作用。

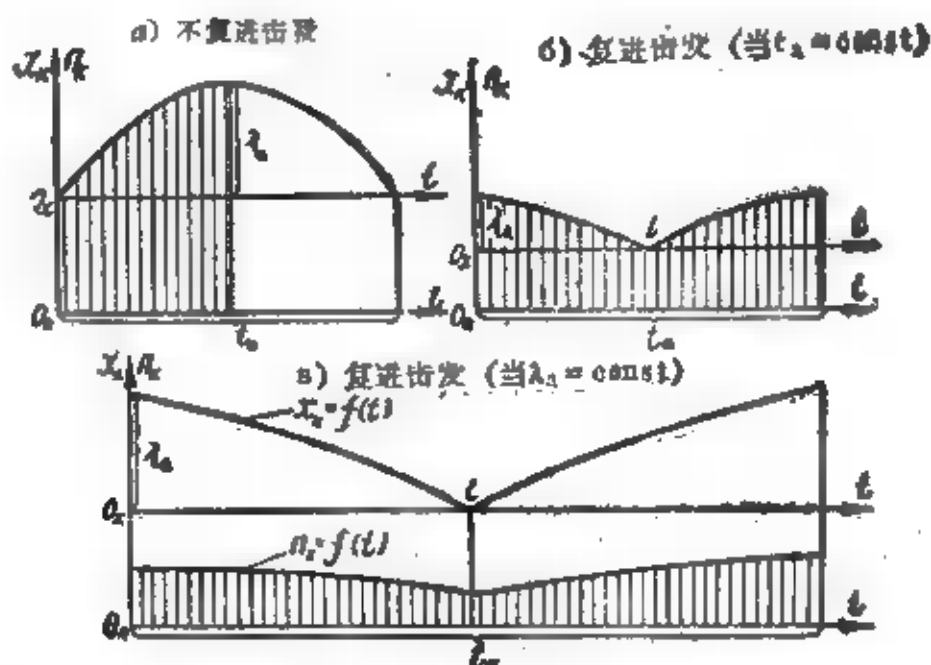


圖3 說明作用于輪座上的力 Π_1 的变化以及以時間为函数的武器進退 x_1 之圖解。

■于自动机工作对緩冲器工作有頗大的影响，因此，步兵自动武器緩冲器工作不可能完全表示于所研究的路圖中。这一路圖和所求得的关系式在研究自动武器緩冲器的工作时仅用来說明自动武器緩冲器工作的个别阶段和用来說明某些原則情况和質量特征数。

自动武器緩冲器工作时出現了应用武器复进击發的新的可能性，这种可能性不会使緩冲器的工作产生若干严重的缺点（有迟發的危險，不發火后必需調整緩冲器彈簧，發射前后座对槍架作用，这种作用使第一次發射精度变坏等）。

2 自动武器的緩冲

我們来討論一下自动武器緩冲器的工作特点和在这种情况下应用武器复进击發的特点。

在考虑緩冲器工作与自动机工作的关系时，为了确定緩冲器工作对自动机工作的影响我們研究一下在刚性固定的情况下和在

各种不同的缓冲条件的情况下武器自动机的工作。为了研究方便起见，我们取经过若干简化的气式自动机工作为例。

我们把所研究的武器的自动机的工作分为以下几个主要时期：

- 1) 枪机与枪机框联接之前枪机框的运动（枪机框的自由行程）；
- 2) 枪机框同枪机一起向最后方位置运动；
- 3) 枪机框与枪机一同复进。

所研究的自动机工作情况的原理图示于图4中。在所研究的每一个自动机工作时期内枪机框和枪机位移特征数之数值示于图中（图5）。

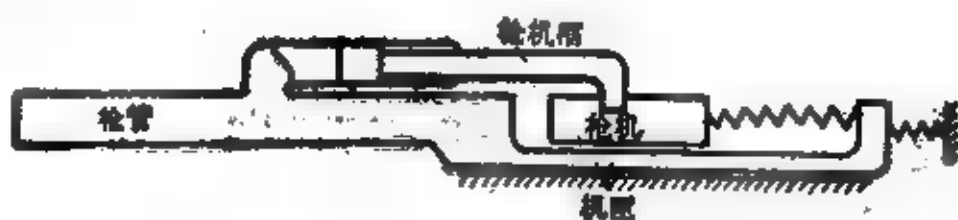


图4 自动机工作略图。

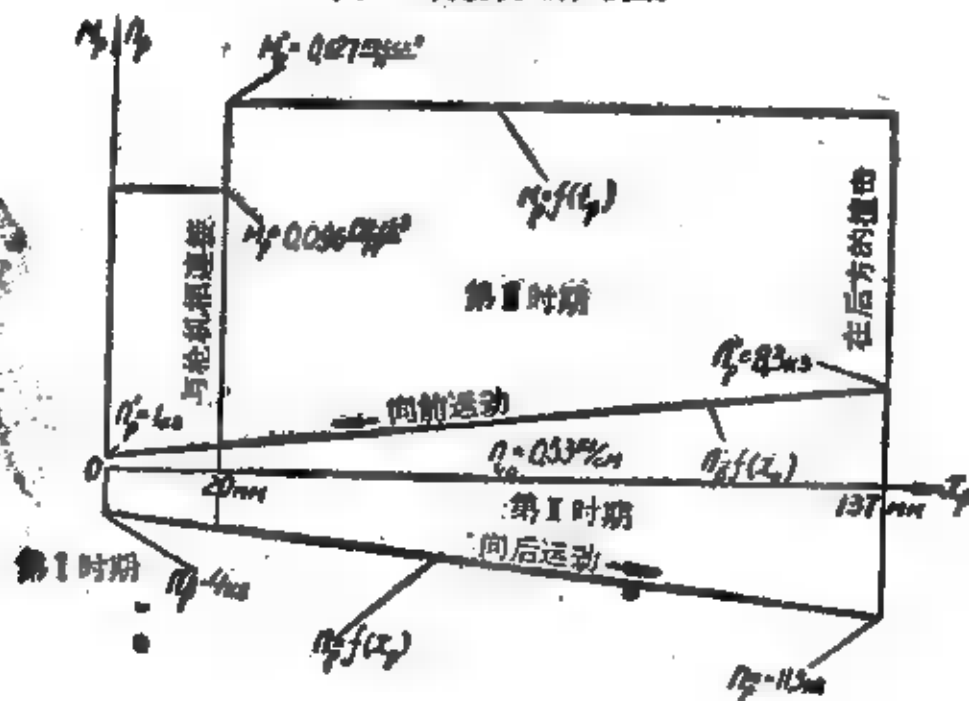


图5 质量和力的变化图解。

取槍机框和槍机的質量等于

$$M_p = 0.096 \frac{\text{кг/сек}^2}{\text{м}}$$

$$M_s = 0.031 \frac{\text{кг/сек}^2}{\text{м}}$$

复进簧工作圖解示于圖 6 中。

我們假設，在第二时期开始之前槍机框的速度为 $V_p = 4.54$ м/сек ，槍机框运动时间为 $t_2 = 0.0045$ сек 。

为了确定槍机框在第二和第三时期內位移和速度关系所必需的圖解示于圖 7 中。

圖 8 中所示的是根据对槍机框和槍机在整个自动机工作时期內的运动的圖解研究所作的圖解 $x_p = f(t)$ 。圖解时假設在最后一个时期內（槍机閉鎖后）槍机框与槍机一起运动并且槍机圖解影响未加考虑。

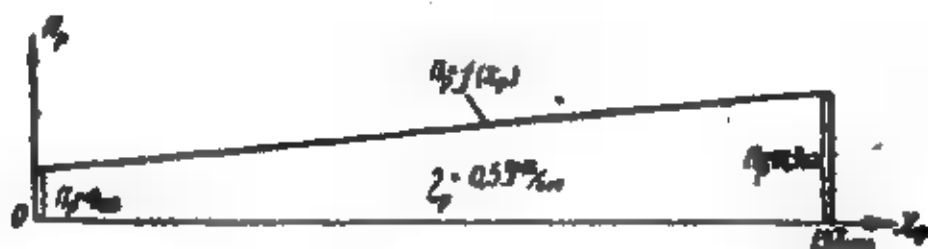


圖 6 复进簧工作圖。

在最显著的特征瞬間內自动机工作研究結果載于表中。

自动机工作的特征瞬間	槍机框座标 $x_p(\text{м.м})$	槍机框速度 $V_p(\text{м/сек})$	运动時間 $t(\text{сек})$
槍机框在最前方位置 与槍机相联接	0	0	0
槍机框在最前方位置	20	6/4.54①	0.0046
槍机框在最前方位置	137	2.33/-0.93②	0.036
槍机框在最前方位置	● 0	-3.33	0.089

表中所列的各量中間值可以直接从圖（圖 7）中求出。

① 分子表示撞击前的速度，分母表示撞击后的速度。

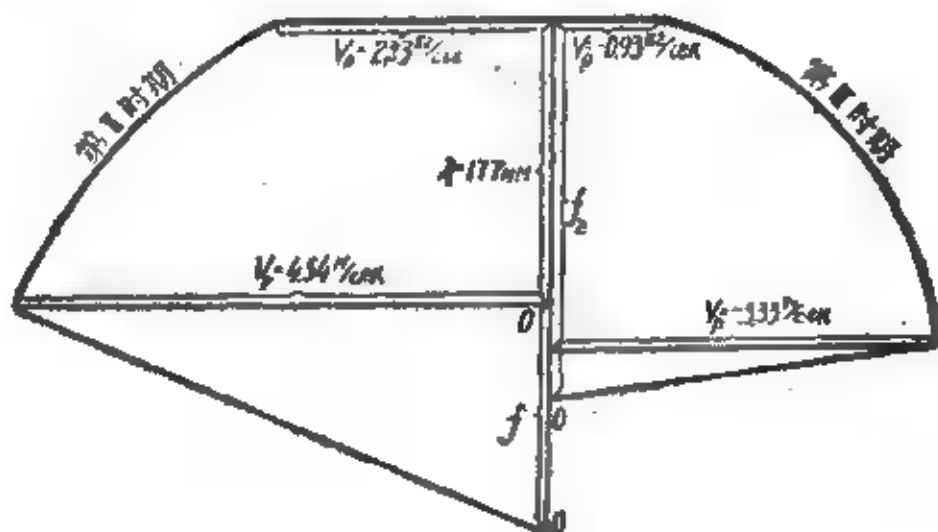


圖7 槍機框運動的圖解研究。

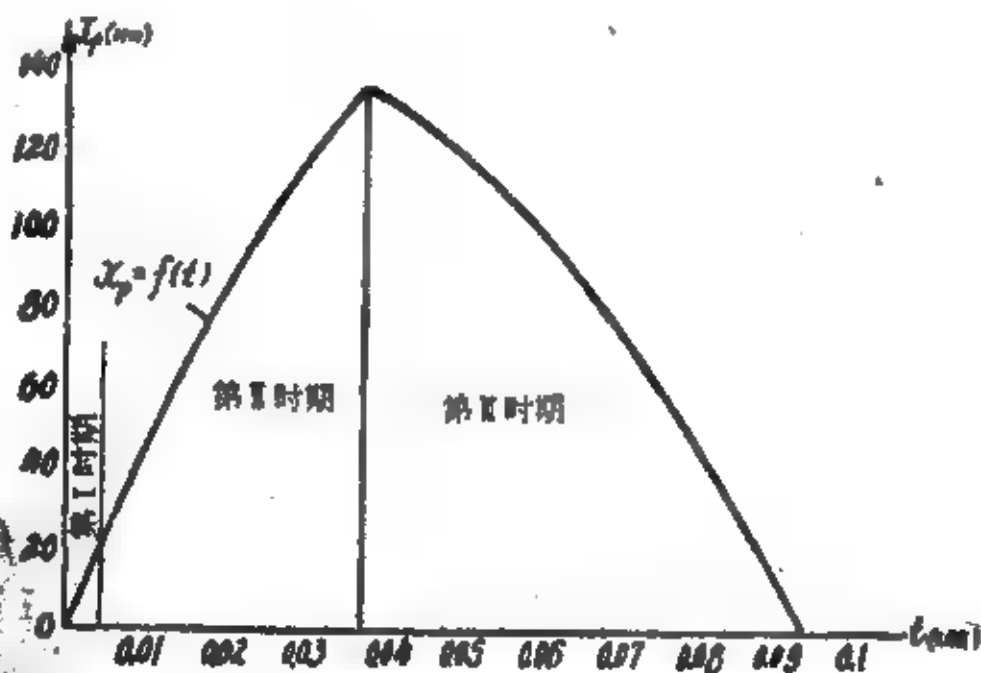


圖8 $x_p = f(t)$ 圖解。

为了对比起见，列出根据同样数据所做的自动机类似计算，但考虑到整个武器的缓冲。

这种情况与所讨论的情况的区别在于，这里在发射时不仅枪机框同枪机可以移动，并且整个武器同枪架的某些连接件也可以移动，而压缩缓冲器弹簧。

假設，包括槍架連接零件質量，但不包括槍機框和槍機質量的武器質量為：

$$M_x = 1 \frac{\kappa_2 \cdot c \kappa^2}{\kappa}$$

彈簧緩衝器工作以圖 9 中所示的圖解表示之。

我們還假設，整個武器的向前運動受槍架的某些元件限制，因緩衝器彈簧工作時有一定的預壓量。

為了研究自動機各部分的運動和整個武器（機匣）的運動，在這種情況下我們利用上面对自動機工作時期所作的划分，再補充一個自動機工作開始前緩衝器壓縮期，亦即火藥氣體對槍機框活塞作用開始前緩衝器壓縮期。

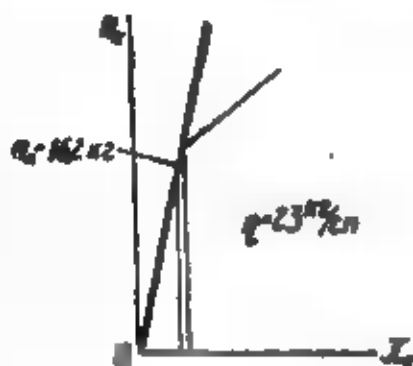


圖 9 緩衝器彈簧工作圖。

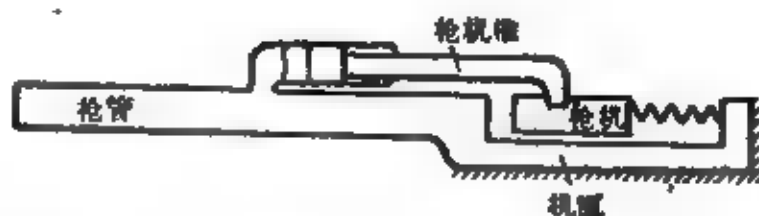


圖 10 機匣和自動機各部的運動略圖。

圖 10 所示圖是在所研究的情況下武器機匣運動和自動機各部分運動的原理圖。圖 11 和 12 所示的是運動的圖解研究，而圖 13 所示圖是說明機匣和自動機各部分隨時間變化的位移圖解。圖 14 所示的是說明緩衝器彈簧預壓量變化 $\gamma = f(t)$ 和武器機匣位移 $x_x = f(t)$ 的圖解。

下表（見 20 頁）中所列的是在自動機各主要特征瞬間，機槍槍機框和機匣的位移座標及其速度。

將自動武器緩衝器工作研究結果與非自動武器緩衝器工作研究結果加以比較，便可發現它們之間有很大的區別。

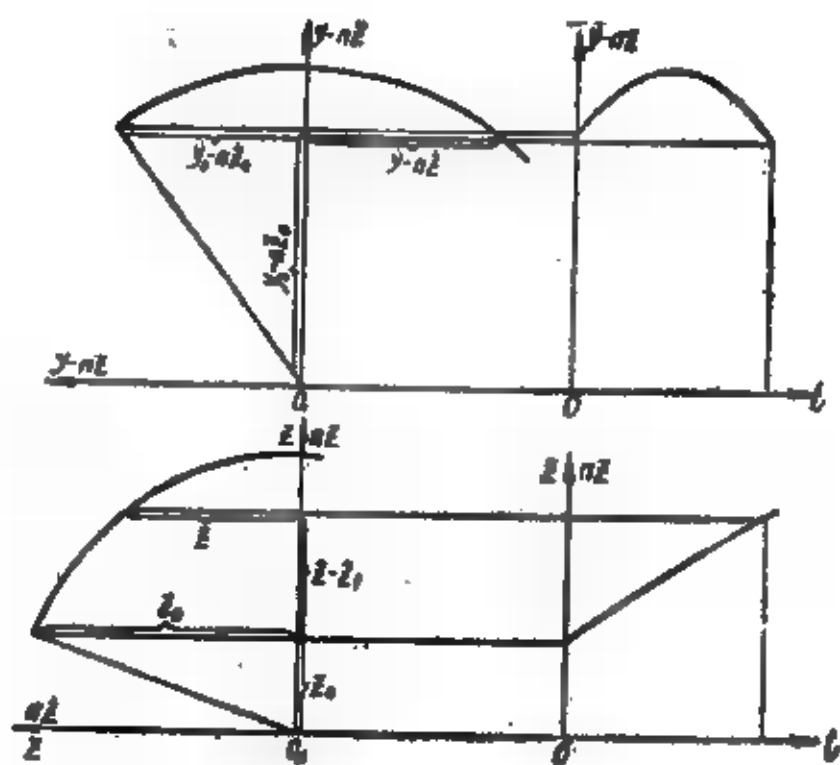


圖11 运动圖解研究（第II时期）。

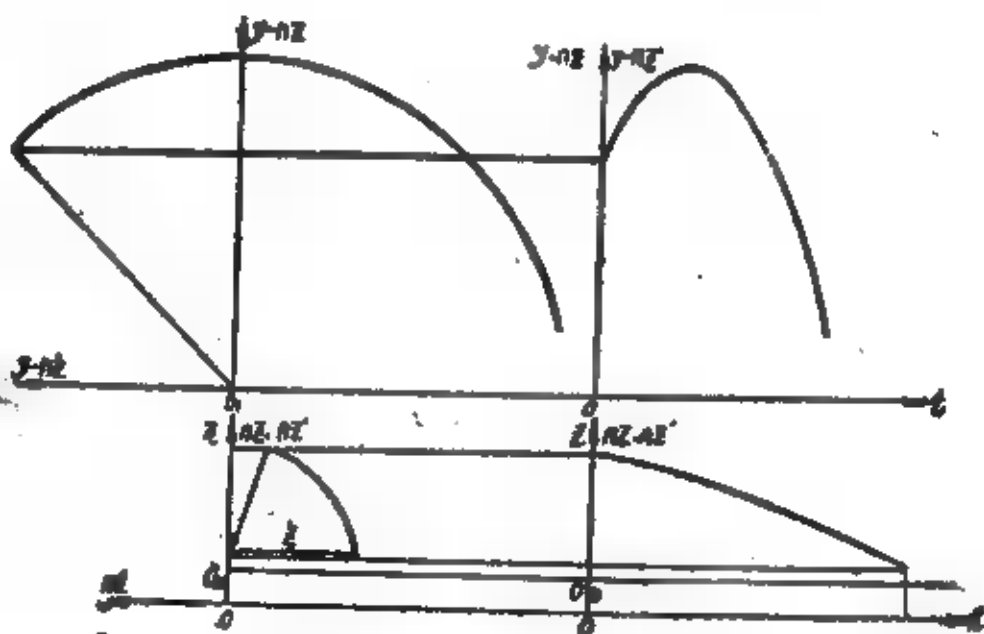


圖12 运动圖解研究（第III时期）。

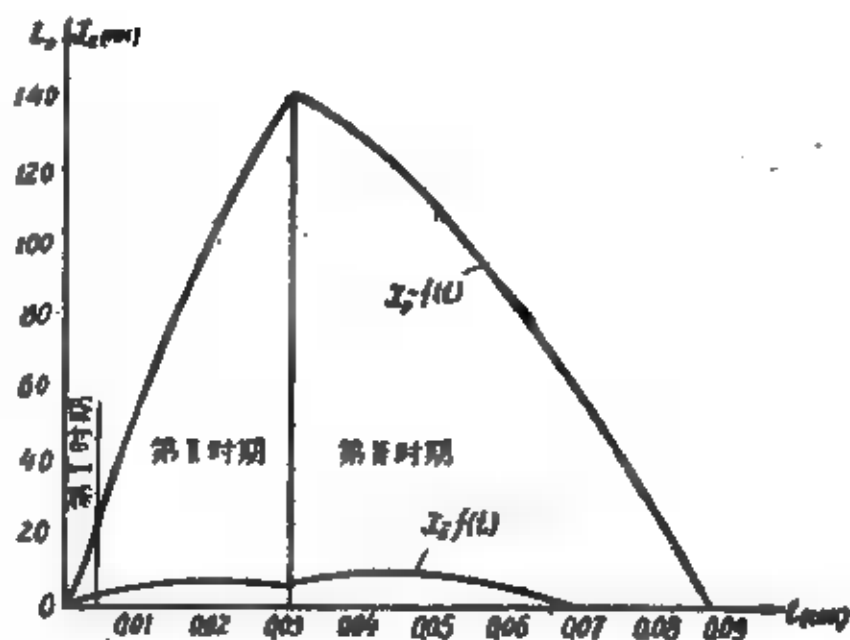


圖13 $x_x = f(t)$ 和 $x_p = f(t)$ 的圖解。

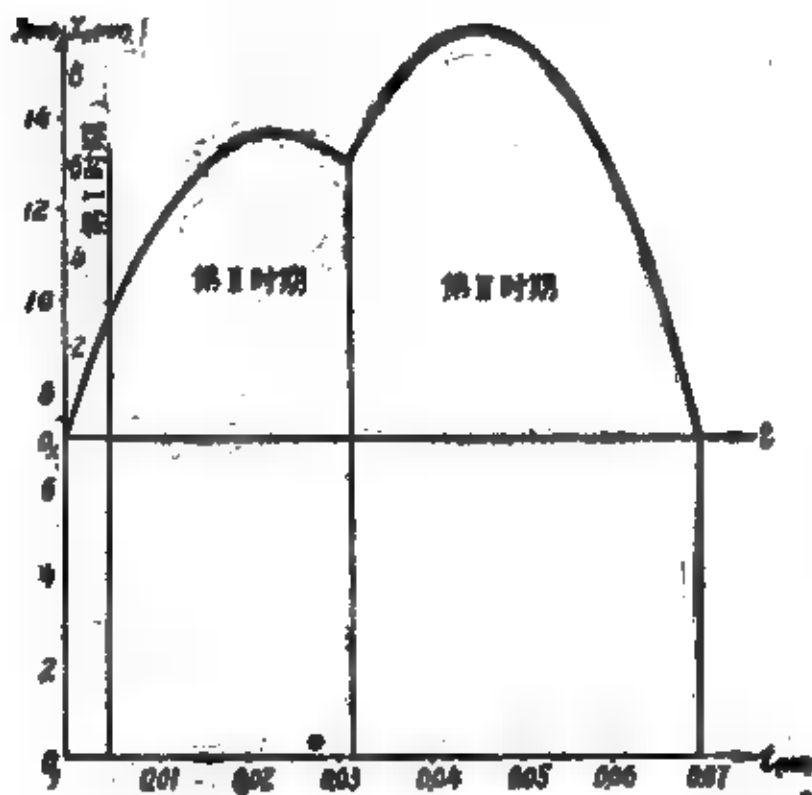


圖14 $y = f(t)$ 的圖解。

自动机工作中的特征瞬間	槍机框座標 $x_p (M.M)$	机槍机匣座標 $x_m (M.M)$	槍机框速度 $V_p (M/CEK)$	机槍机匣速度 $V_m (M/CEK)$	运动時間 $t (CEK)$
击針对底火的撞击	0	0	-2.4	0/-0.2	0
自动机工作起点	0	0	0.67 ^①	0.67	0.0016
槍机开锁	22.7	2.7	6.7/5.24	0.4	0.0063
槍机框最后方位置	143.1	6.1	3.36/-1 ^①	-0.165/0.39	0.0338
槍机框最前方位置	0	0	-3.4	0	0.0886

这种区别就在于武器运动规律不同，作用于槍架上的力的变化性質不同以及应用武器复进击發的方法不同。

在所研究的自动武器緩冲器工作略圖中两次应用了武器的复进击發（槍机框在前方位位置和后方位位置的撞击）。

自动武器緩冲器工作时复进击發的应用与非自动武器緩冲器工作时复进击發的应用是有原則区别的并且几乎沒有非自动武器緩冲器工作时前冲所具有的缺点（迟發的危險，不發火时必需調整緩冲器彈簧以及發射前之后座作用，使射击精度恶化）。

自动武器緩冲器工作时复进击發的应用有一个主要的优点，即通过改变自动机工作条件或改变緩冲器彈簧特征数而控制武器复进击發，以便获得最有利的工作条件。

为了說明通过改变自动机工作条件的方法可以改变緩冲器工作条件，对緩冲器特征数不变但自动机工作条件不同的情况下（导气箍內火藥气体压力作用强度較小）之自动机和緩冲器工作条件（与上面所作的研究相类似）进行了研究。

說明在此种情况下自动机工作槍机框座標变化 x_p 和武器机匣座標 x_m 变化的曲綫示于圖 15 中。

說明緩冲器彈簧壓縮量 y 变化和彈簧的壓縮力 II 变化的曲綫示于圖 16 中。

我們比較一下說明在所討論的自动机工作的两种情况下整个武器位移座標变化的曲綫便可以發現它們有某些相似的地方但圖

① 分子表示撞击前的速度，分母表示撞击后的速度。

时也可以看出它們有很大的区别。这些曲线相似之点，就是它們有两个“小凸峰”，不同之点是“小凸峰”大小不同。

分析一下所作的研究，便可以得出結論，第一个凸峰是說明主要由于作用在槍膛底部和导气箍前壁上的火藥气体压力冲量而产生的武器运动；第二个凸峰說明主要由于槍机框在后方位置撞击的結果而产生的武器运动。槍机框运动时作用于武器机匣上的复进簧力对所討論的曲线性質亦有影响。然而当自动机工作条件变化时該力的变化性質几乎是一样的。

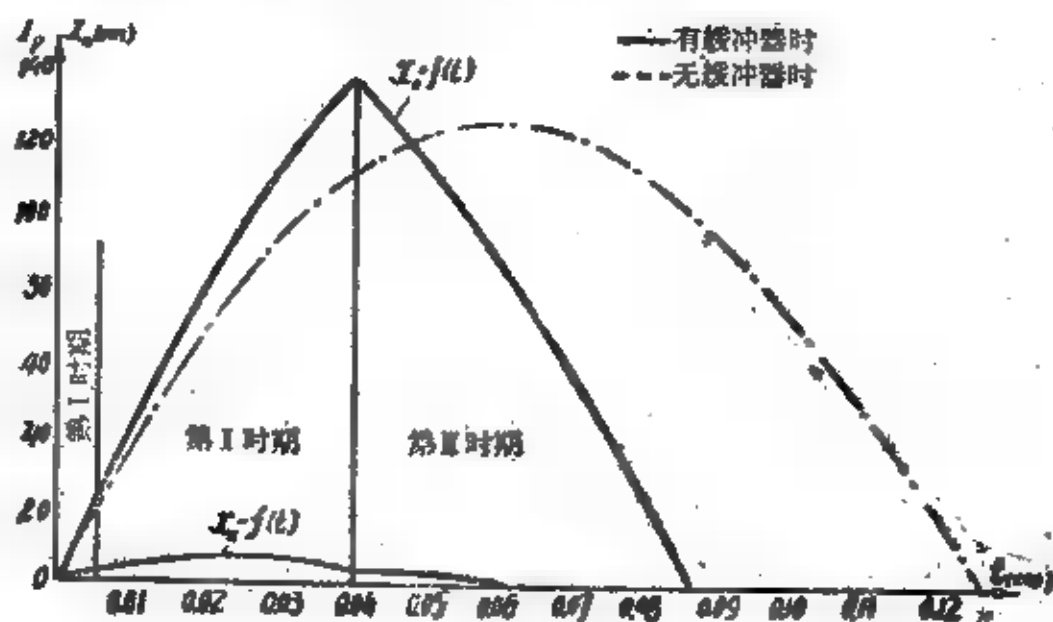


圖15 $x_k = f(t)$ 和 $x_p = f(t)$ 圖解。

在緩冲器工作時間內，如果导气箍內的火藥气体压力作用强度較大的話，那么作用在武器机匣上的膛內和导气箍內的火藥气体压力的总冲量减小，因为在这种情况下作用在导气箍前壁上的火藥气体压力冲量較大，因而减小了火藥气体压力总冲量和武器机匣动量的总增量。这就减小了表明武器机匣随時間变化的位移曲线的第一个凸峰。

当导气箍內的火藥气体压力作用强度較大时，槍机框获得比較大的动量增量，这就增大了槍机框在后方位置时对武器机匣的

撞击并增大了表明机匣位移变化的曲线第二个“凸峰”。该曲线的第二个“凸峰”的增大是由于枪机框在后方位位置发生撞击之前武器复进动量减小的结果，而武器复进冲量减小是由于第一“凸峰”值较小的缘故。

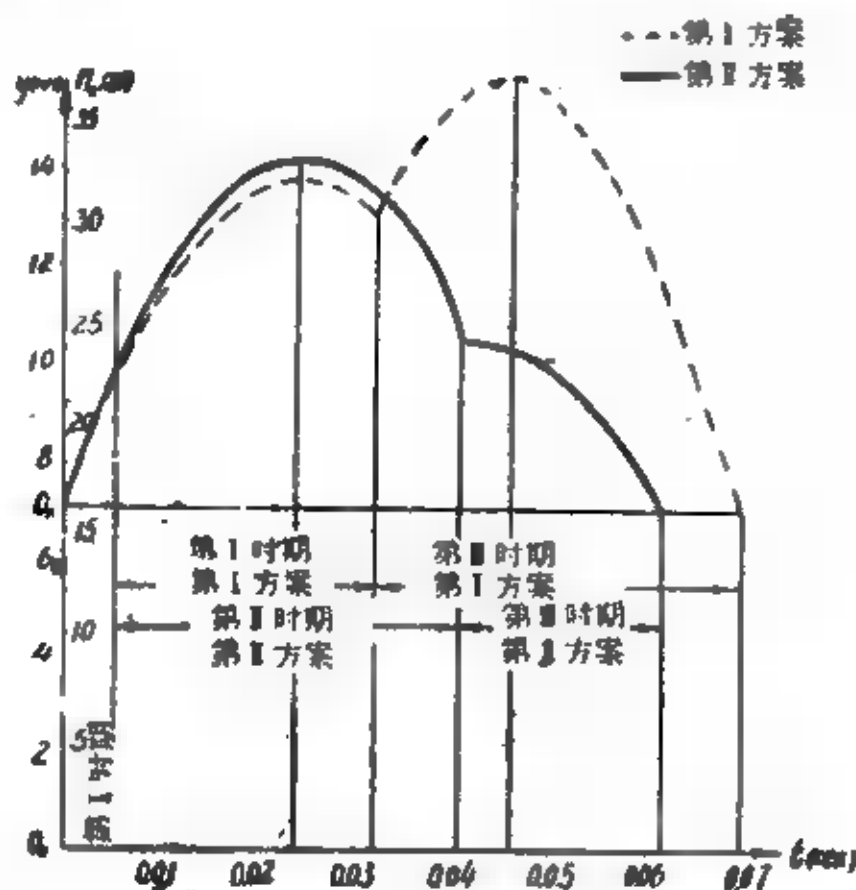


圖16 $y = f(t)$ 和 $\Pi_{\Sigma} = f(t)$ 圖解。

当导气箍内火藥气体压力作用强度很小时，缓冲器工作时间内完全是另外一种情况。在这种情况下，由于作用在导气箍前壁上的火藥气体压力冲量减小的结果，火藥气体压力作用时武器机匣动量总增量增加，因而表示武器机匣位移座标随时间变化的曲线第一个凸峰相应地增大。

该曲线第一个凸峰增大就使得枪机框在后方位位置发生撞击之前武器复进的冲量增大，这就促使表示武器机匣位移座标随时间变化的曲线的第二凸峰减小。该曲线第二凸峰的减小也是由于在

导气箍内当火药气体压力作用强度不大时枪机框在其开始向后运动时获得的动量增量也不大，而这就减小了枪机框在后方位位置时对机匣的撞击。

圖 16 中的圖解說明在上述两种緩冲器工作情況下作用在槍座上的力的变化。

这些圖解表明，■导气箍内的火藥气体压力作用强度很小时（第二个方案），作用于槍座上的力的最大值和■冲器工作的总时■度之在导气箍内的火藥气体压力作用强度很大时要小（第一种方案）。

这些結果表明，■动武器■冲器工作的特性。

为了研究緩冲器彈簧对緩冲器工作条件及武器复进的影响，对第一种方案（导气箍内火藥气体压力强度很大时）情况下的緩冲器和自动机的工作进行了研究。但要采用两个新的緩冲器彈簧特征数（緩冲器彈簧刚度系数增大一倍和减小二分之一）。

自动机和緩冲器工作研究結果（用第一种方案所采用的方法）以圖解的形式示于圖 17 中。■圖解說明槍■框■移座标 x_p 和武器机■位移动座标 x_k 随時間变化的情形。

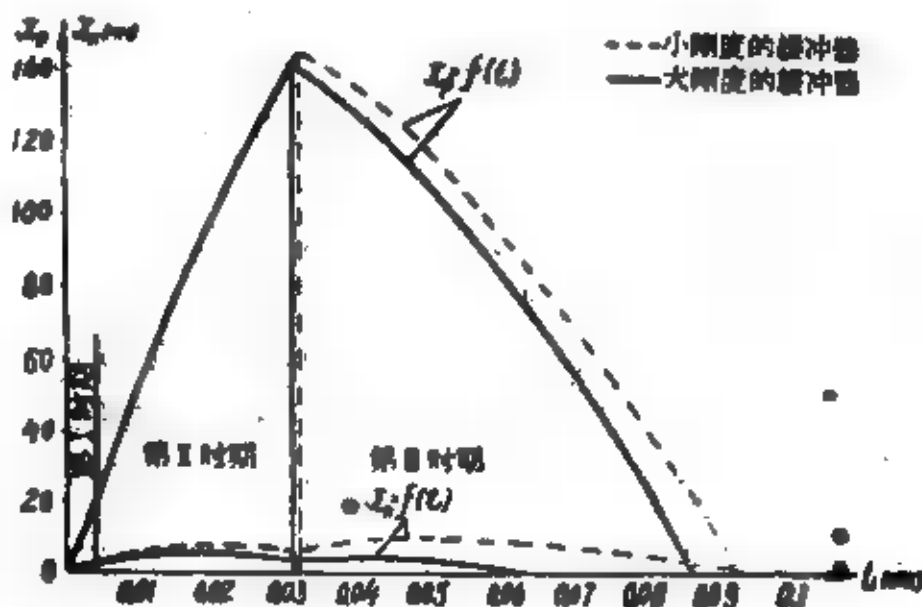


圖 17 $x_k = f(t)$ 和 $x_p = f(t)$. 圖解。

表明武器机匣位移座标变化的曲线(圖 17)指出,在上面所討論的緩冲器工作的两种情况下武器运动規律有很大的区别。在第一种情况下(緩冲器彈簧剛度系数减小时)由于与緩冲器彈簧相連接的武器自由振动周期的增大,很少能利用槍机框在后方位置撞击时武器的前冲,这就增大了表明武器机匣位移座标随時間变化的曲线的第二凸峰。与此同时,緩冲器工作时圖大大增加。

在第二种情况下(緩冲器彈簧剛度系数增大时)由于与緩冲器彈簧相連接的武器自由振动周期的减小,在很大程度上能继续利用槍机框在后方位置撞击时武器的前冲。这就大大地减小了表明武器机匣位移座标随時間变化的曲线的第二凸峰。緩冲器工作時間在这种情况下大大减小。

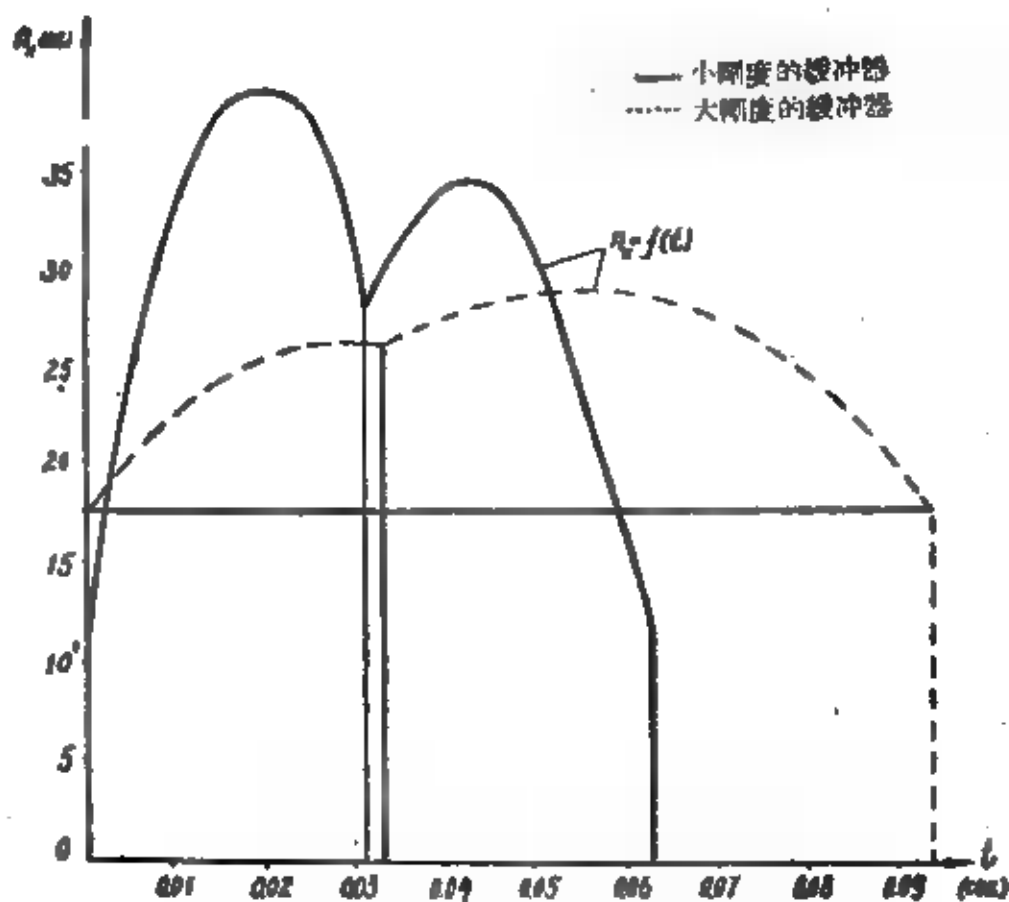
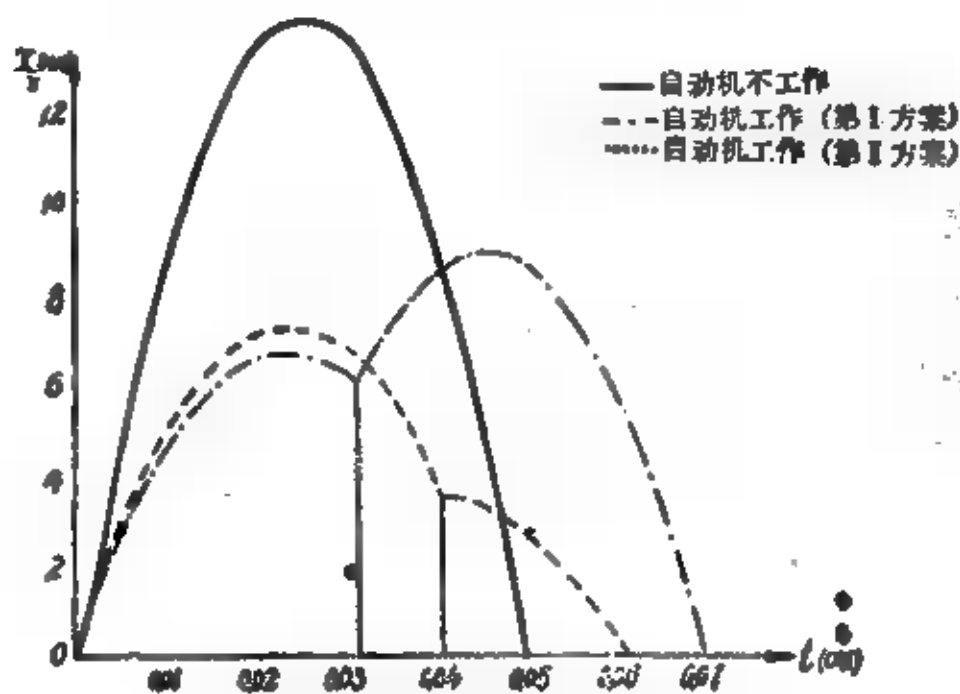
圖 18 所示的曲线說明在我們所討論过的两种緩冲器工作的情况下作用于槍座上的力的变化。这些曲线表明,在緩冲器彈簧剛度比較大而且緩冲器工作時間减小的情况下作用于槍座上的力显著地增大。

圖 19 所示的曲线說明發射后自动机不工作武器机匣位移座标之变化(緩冲器彈簧特征数是对第一种方案下緩冲器的工作而言的)。在这个圖上还有以前获得的表示同一緩冲器彈簧特征数下,但自动机工作时(导气箍内火藥气体作用强度不同)机匣位移座标变化。这些曲线的比較說明緩冲时整个武器运动規律的特点。

在所作的研究中我們是以导气式自动机的工作單發时为例討論自动武器緩冲器的最主要的工作特点的。

这一类自动机工作(但为連發射击)时以圖以其他原理为基础。自动机工作时,自动武器緩冲器工作有某些特性。这些特性在于,連發时有可能利用由于前一次發射后武器复进而产生的整个武器前冲,以及利用槍管后座式武器的槍管在后方位置时对机匣撞击瞬間武器的前冲。

圖 20 所示的圖解說明連發时导气式自动机槍机框位移座标

圖18 $p_k = f(t)$ 圖解。圖19 $z_k = f(t)$ 圖解。

和机匣位移座标的变化。分析一下这些圖解便可以作出如下的結論：如果緩冲器工作時間小于自动机工作循環時間，那么自动机的工作和緩冲器的工作，無論在連發時和在單發時的相互影响都是一样的。

点射时自动武器緩冲器的工作有某些特性仅仅是由于緩冲器工作结束后武器振动的緣故（有前方緩冲垫），或由于武器在前方位置撞击擋板后运动的緣故（沒有前方緩冲垫），因此在下次發射之前武器已具有某一初速。有时，为了保証在全部連發过程中緩冲器工作的稳定性，采用專用的消振裝置，以保証迅速消除緩冲器工作后武器的振动。

如果緩冲器工作時間等于自动机工作循環時間（在下次發射时武器的复进並沒有結束），那么緩冲器工作另具有若干原則性的特性，即可以利用前次發射复进时整个武器的前冲。

正如机槍机匣位移座标 x_x 变化的圖解所表明的，在这种情况下武器在連發过程中不能回到前方位置，从而消除了复进結束时对槍架或槍座的撞击。然而緩冲器如此工作武器在各次發射中不是在相同的位置上，这对于射击精度会产生不利的影响。

圖 21 和 22 所示的圖解表示槍管短后座式自动机槍管位移座

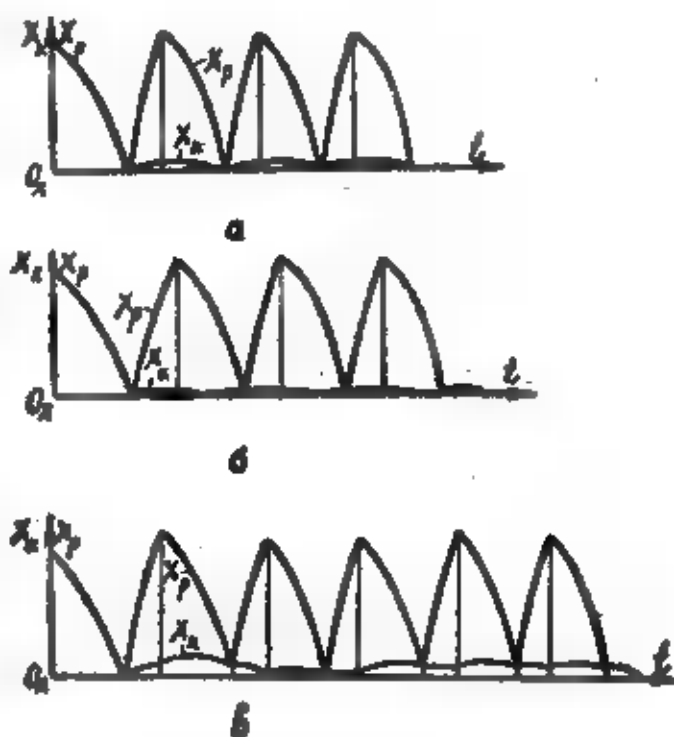


圖20 連發時 $x_x = f(t)$ 和 $x_p = f(t)$ 圖解：

а), б)——緩冲器工作循環時間小于自动机工作循環時間；

в)——緩冲器工作循環時間等于自动机工作循環時間。

标、枪机位移座标和武器机匣位移座标随时间变化的情形。

枪管短后座式的武器之缓冲器的工作具有某些特性，这些特性是在这种情况下当缓冲器工作时，作用于武器机匣上有数个冲量负荷（枪机和枪管到达最后方位置和最前方位置时）。正如图解所表明的那样，武器机匣开始向后移动不是由于火药气体压力的直接作用，而是由于枪管在后方位置时对机匣的撞击。

连发时枪管后座式自动武器缓冲器工作特性与导气式自动武器缓冲器工作特性相同。

图21所示图解表示枪管短后座式自动机枪管座标位移 x_c 、枪机位移座标 x_g 和机匣位移座标 x_k 的变化，此时枪管后座后立即回到前方位置。

图22所示的也是枪管短后座自动机的图解，而枪管在枪机回复之前停止在后方位置。

分析一下所列的图解，可以作出结论，改变缓冲器的特征数，可以获得各种不同的缓冲器工作情况并且能够使缓冲器工作与自动机工作的配合成完全满足对武器所提出的要求。

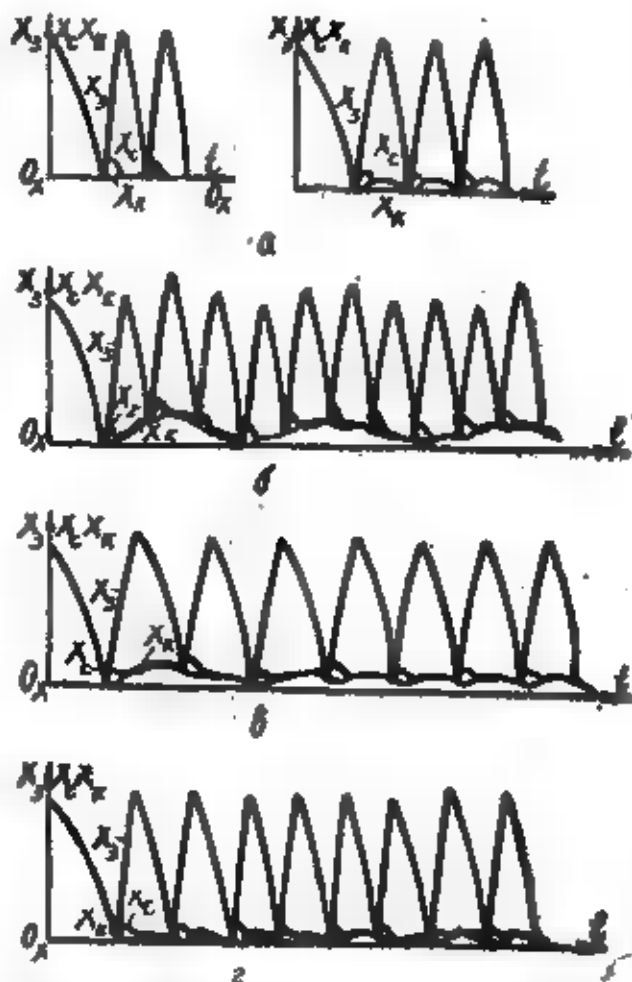


图21 连发时 $x_g = f(t)$, $x_c = f(t)$ 和 $x_k = f(t)$ 图解 (MG-42 机枪):

a)——缓冲器工作循环时间小于自动机工作循环时间武器刚性连接或采用刚性缓冲器时的缓冲;

b), c)——缓冲器工作循环时间等于自动机工作循环时间。

按照上述关于选择自动武器缓冲器的要求和利用计算自动机的一般方法并考虑到武器的缓冲，根据已知的自动机工作特征数就可以为给定的武器选择最有利的缓冲器特征数。

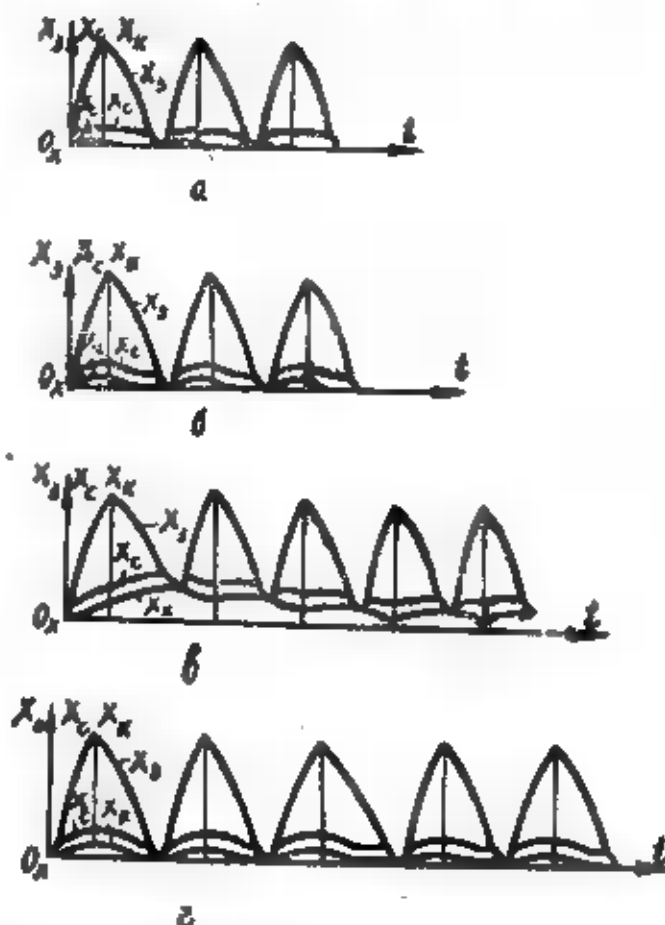


圖22 連發時 $x_k = f(t)$, $x_c = f(t)$ 和 $x_0 = f(t)$ 圖解 (勃朗寧機槍) :

a), б) —— 緩沖器工作循環時間小於自動機工作循環時間;
в), г) —— 緩沖器工作循環時間等於自動機工作循環時間。

§2 自动武器緩沖器工作的近似研究法

如果我們假設武器緩沖对自动机工作沒有很大的影响，則在這種情況下，选择自动武器緩沖器特征数時可以根据給定的动力冲量圖解利用近似法計算緩沖器。

自动武器緩沖器工作近似計算法以緩沖器工作对自动机工作沒有影响的假定作为基础。

使用此种假定时，我们不研究具有多个自由度的自动机活动部分和武器机匣活动部分，而研究具有一个自由度的活动部分系统，而且把它们的运动简化为在一根弹簧的弹簧力和根据任意规律随时间变化的力的作用下之平移运动和直线运动。

应用这种自动武器缓冲器近似算法时，必须知道冲量动力图解。这些图解表明为时间函数的各种力和冲量沿枪膛轴线方向对武器机匣的作用。

冲量动力图解可以用各种不同的方法求出。如对所研究的武器来讲，已经有了自动机的计算结果，那么根据计算就容易作出冲量动力图解。

例如，利用上述计算自动机的特征数，可以确定，在导气箍内的火药气体压力作用下活动部分获得的动量增量：

$$M_p V_p = 0.096 \times 6 = 0.58 \text{ кг} \cdot \text{сек}.$$

可以假设，在导气箍内的火药气体压力作用的时候，对导气箍前壁作用的冲量

$$I_2 = M_p V_p = 0.58 \text{ кг} \cdot \text{сек}.$$

火药气体压力作用于膛底的时间内，对机匣向后作用的冲量：

$$I_1 = \frac{q + \beta \omega}{g} v_0,$$

式中 q 和 ω —— 弹丸重量和装药重量 ($q = 10 \text{ г}$; $\omega = 3.14 \text{ г}$);

g —— 自由落体加速度 ($g = 9.81 \text{ м/сек}^2$);

v_0 —— 弹丸初速 ($v_0 = 830 \text{ м/сек}$);

$\beta = \frac{1275}{v_0}$ —— 火药气体作用系数 ($\beta = 1.54$)。

代入数值，可得

$$I_1 = \frac{(0.01 + 1.54 \times 0.00314)}{9.81} \times 830 = 1.25 \text{ кг} \cdot \text{сек}.$$

当活动部分在后方位位置撞击时，对武器机匣作用的冲量为：

$$I_3 = M_{p.s} (V_p - V'_p),$$

式中

$M_{p.s}$ —— 枪机框和枪机的质量

$$(M_{p.0} = 0.127 \frac{\text{кг} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}});$$

V_p 和 V'_p —— 撞击机匣前后枪机框和枪机的速度。

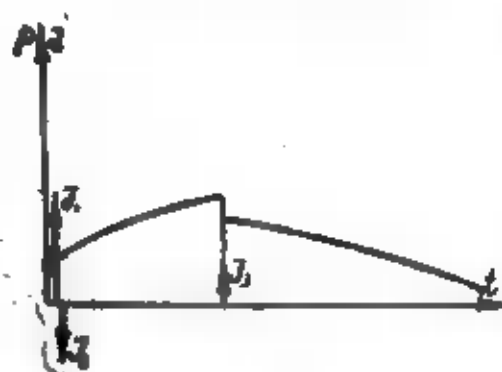
$$(V_p = 2.33 \text{ м/сек}, V'_p = -0.93 \text{ м/сек}).$$

代入数值之后，则得

$$I_0 = 0.127(2.33 + 0.93) = 0.415 \text{ кг} \cdot \text{сек}.$$

除这些冲量之外，在自动机工作时作用于机枪机匣上的力还有复进簧力和摩擦力。因为复进簧力是活动部分的位移函数，作线性变化，而摩擦力是一常量。所以，知道关系式 $x_p = f(t)$ ，根据所作的图解容易求出随时间变化的复进簧力和摩擦力的合力。

■ 23 所示的动力冲量图是对所研究的自动机工作情况而言的。如果导气箍内的火药气体压力不用冲量负荷代替，那么动力冲量图如图 24 所示（力用另种比例尺表示）。



■ 23 动力和冲量简化图。



■ 24 动力和冲量图。

利用这样的方法所求得的动力冲量图，知道缓冲器弹簧特征系数和武器机匣质量，便可以研究自动机工作时整个武器的运动。

上述确定动力冲量图解的方法是不精确的，因为不可能考虑到自动机工作时作用于武器机匣上的所有反作用力。此外，为了应用这种方法必须利用在武器是刚性连接条件下自动机的计算结果，而这种计算方法在设计缓冲器时不可能都作如此假设。

利用由试验或根据自动机计算所获得的自动机主要构件速度

变化规律便可以输出冲量动力图解。

利用自动机主要构件速度变化这一规律和知道活动部分的量便可以求出在不大的时间间隔内自动机活动部分动量变化并可以把这些动量变化看成与作用于机枪机匣上的相应的冲量相等。假设，在不大的时间间隔内，由于活动部分动量变化的结果作用于机匣上的力是一常量，便可以求出这些力，即把所求得的动量增量除以相应的不很大的时间增量之后，便可以获得冲量动力图解。

譬如，假设我们已知表明导气式自动机主要构件(枪机框)速度变化规律的图解(图25)。

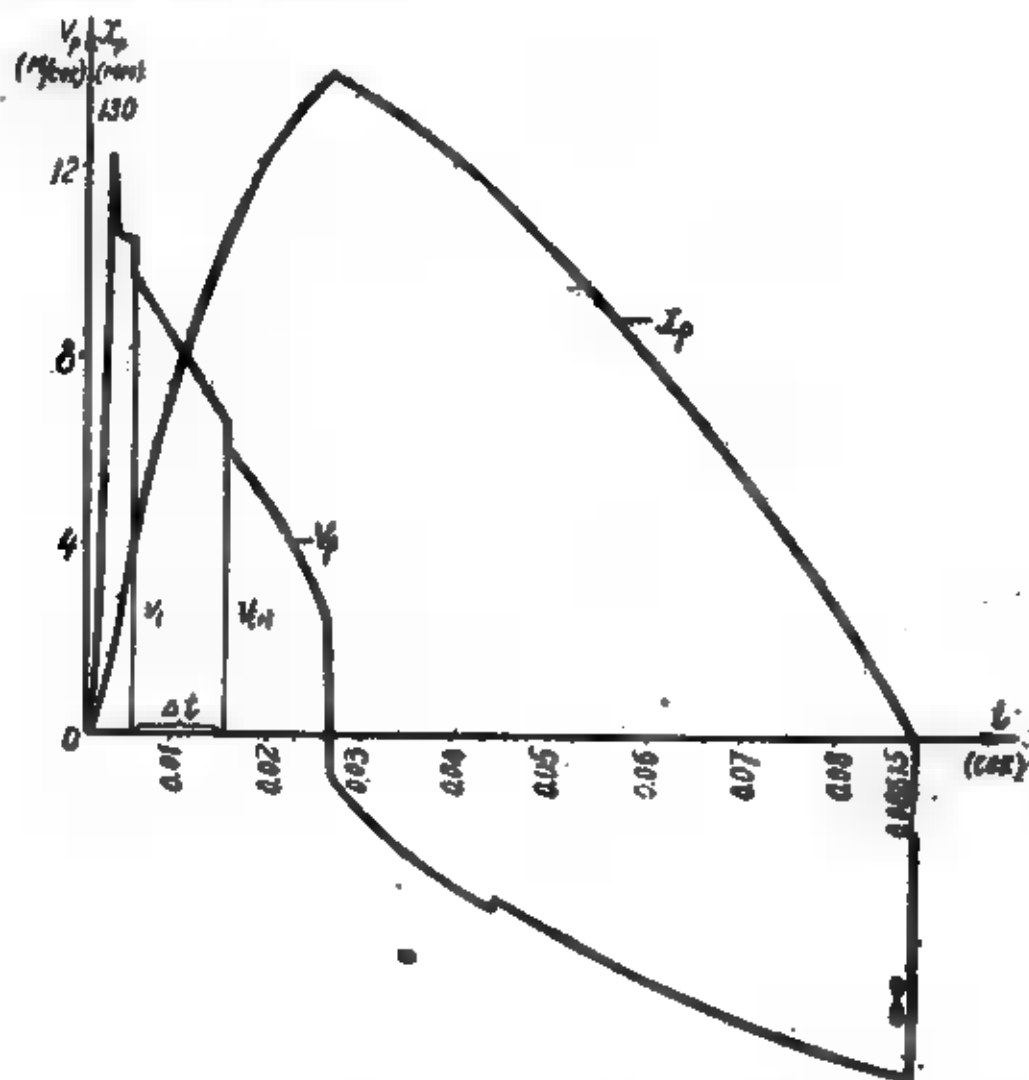


图25 $v_p = f(t)$ 和 $s_p = f(t)$ 图解。

自动机主要构件在不大的時間間隔內动量变化可以用下列公式表示:

$$M(V_{i+1} - V_i) = -M\Delta V_{i0}$$

式中

M ——沿槍膛軸綫方向运动的自动机主要构件質量;
 V_i 和 V_{i+1} ——在不大的時間間隔 Δt 开始和結束时自动机主要构件的速度。

自动机主要构件动量的这一变化是由于冲量作用的結果

$$I_i = -M\Delta V_{i0}$$

这样的冲量 I_{xi} 同时在相反的方向上作用于武器机匣上

$$I_{xi} = -I_i = M(V_i - V_{i+1}) = M\Delta V_{i0}$$

知道了冲量 I_{xi} , 并假設在 Δt 時間內, 这一冲量看作是由于在槍膛軸綫方向上作用于机匣上的不变力 P_i , 根据下一公式可求出此力

$$P_i = \frac{M\Delta V_{i0}}{\Delta t}$$

这一公式表明, 上述假定就等于把自动机主要构件在不大的時間間隔內的加速度当作平均值看待的。

主要构件速度瞬間变化(撞击时)时应根据下一公式求出冲量 I_{xi} 而不求力 P_i

$$I_{xi} = M\Delta V_{xi0}$$

应用上述的冲量动力圖解的近似計算法时不論自动机的工作如何, 在膛內火藥气体压力作用时期分別地考虑作用于武器机匣上的力和冲量。

例如, 对于导气式自动机的武器来講, 作于槍膛底部上的冲量可以根据下一公式求出:

$$I_{xi} = \frac{q + \beta \omega - p_{g0}}{g}$$

圖25所示的圖解表明导气式自动机(德普式机槍)主要构件(槍机框)速度之变化, 圖26是用所述方法获得的冲量动力圖解,

而圖 27 所示的作圖是用以確定在有彈性緩沖器的條件下●，武器在自動機工作時位移 x_k 的圖解（在某一具體的緩沖器彈簧特征數時）。圖 28 所示的圖解表明連發時武器的位移。

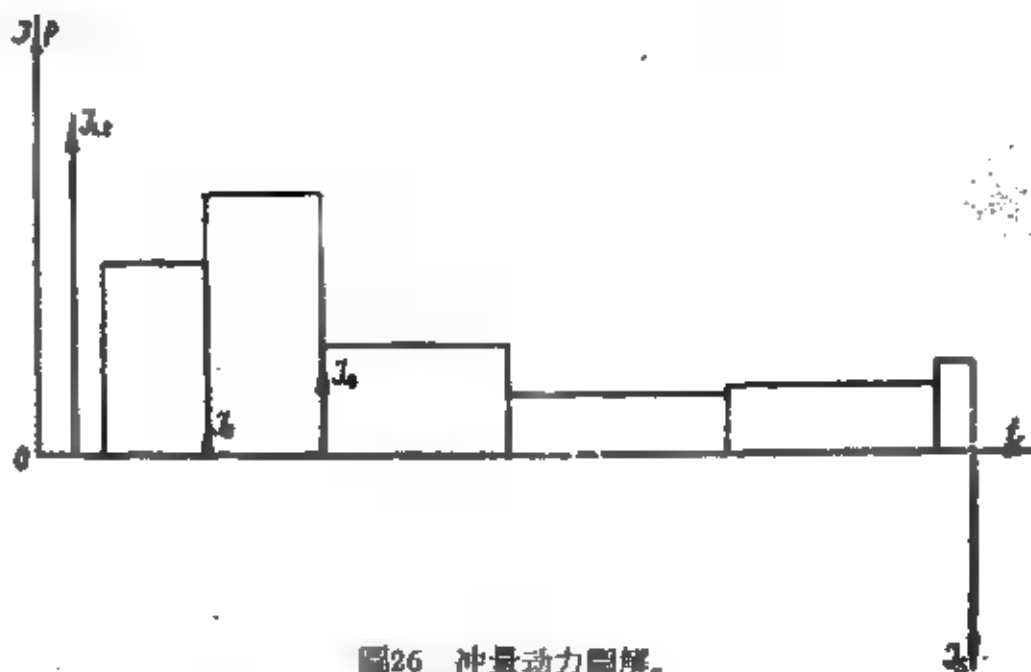


圖 26 冲量动力圖解。

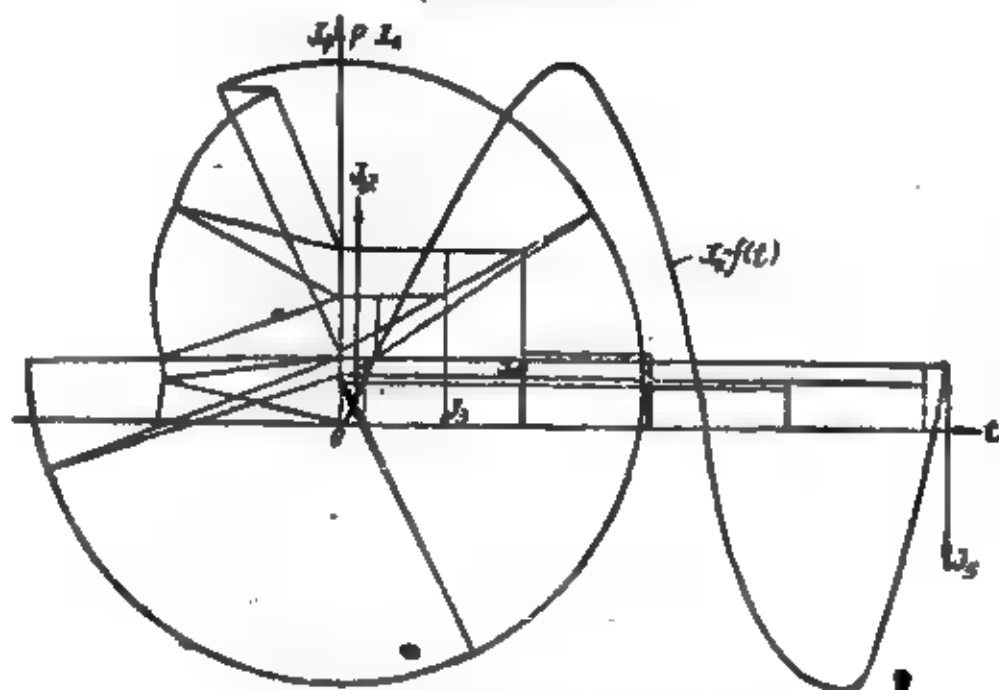


圖 27 $x_k = f(t)$ 圖解的確定。

● 這些作圖是根據本書上章所述的方法製成的。



圖28 散次發射時 $x_n = f(t)$ 圖解。

如果自动机是以槍管后座原理（槍管短后座）为基础的，那么在作冲量动力圖解时沿槍腔軸綫方向作用在武器机匣上的冲量应该根据下一公式求出

$$\Delta I_n = M_n \Delta V_n + M_c \Delta V_c,$$

式中

$\Delta V_n = V_{n1} - V_{n(i+1)}$ —— 槍机在不大的時間間隔內的速度增量；

$\Delta V_c = V_{c1} - V_{c(i+1)}$ —— 槍管在不大的時間間隔內的速度增量。

ΔV_n 和 ΔV_c 的值可以根据表示所研究的武器槍管和槍机速度变化的圖解(圖29)求出。

在不大的時間間隔內速度平穩变化时可以根据下一公式求出作用于武器机匣上的平均力：

$$P_i = \frac{\Delta I_n}{\Delta t}。$$

在这种情况下，应该考虑到，不是所有作用于自动机活动部分上的冲量（槍管和槍机）都傳到武器机匣上，因为槍腔底部的火藥气体压力冲量不是直接作用于武器机匣上的。

在火藥气体压力作用下槍管运动期間，应该考虑到复进簧力对武器机匣的作用和火藥气体对槍口帽的作用。

計算槍腔底部火藥气体压力作用时复进簧力时，可以取这些力的平均值。火藥气体对槍口帽的作用可以計算其相当冲量 I_k ：該冲量根据下一公式求出

$$I_x = \mu_x \frac{\beta - 0.5}{g} \omega v_0$$

式中

μ_x ——口帽对武器机匣作用的冲量系数；

β ——火藥气体作用系数；

ω ——藥重；

v_0 ——彈丸初速；

g ——自由落体加速度。

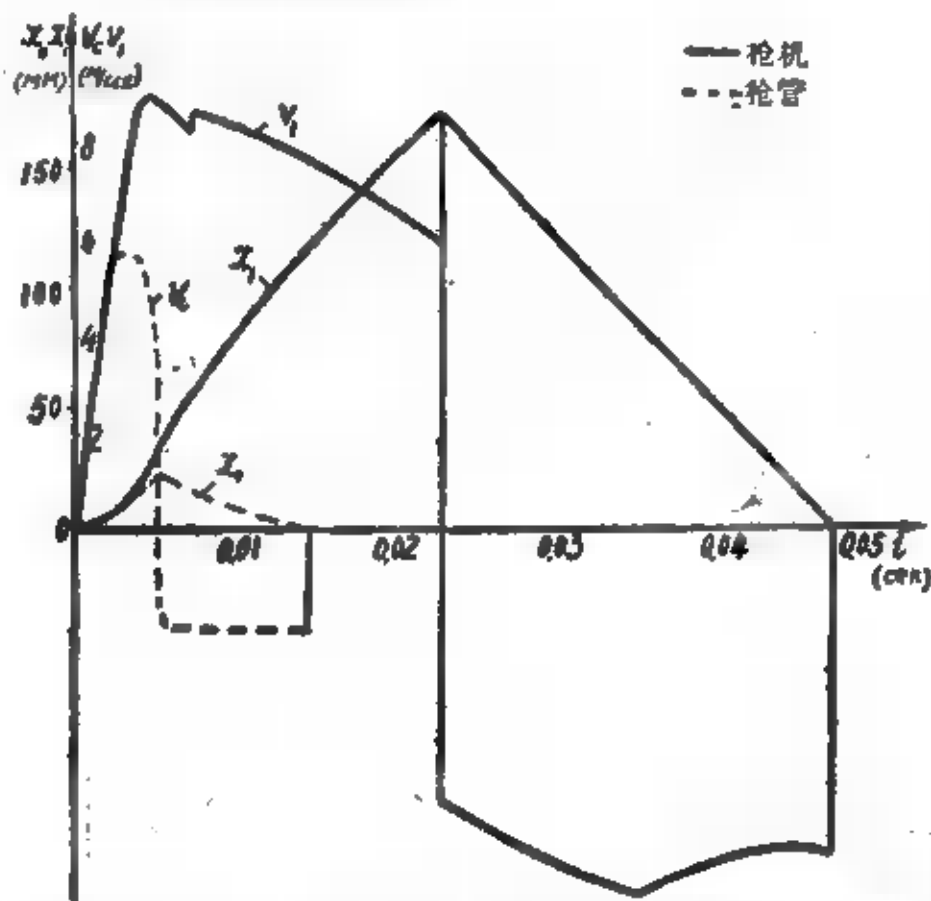


图29 $v_g = f(t)$; $x_g = f(t)$; $v_b = f(t)$; $x_b = f(t)$ 图解。

图29所示的图解表明枪管短后座式自动机枪管和枪机的速度变化。图30所示为所获得的动力冲量图解。图31所示为表明在有弹性缓冲器条件下自动机工作时图次发射中武器位移的图

● 图31上之 O_p 为冲量动力图解之坐标原点， O_x 为图解 $\frac{V_x}{p} = f(x_x)$ 之坐标原点（上原点 O_x 为后座缓冲器工作时之原点，下原点为复进缓冲器工作时之原点）。

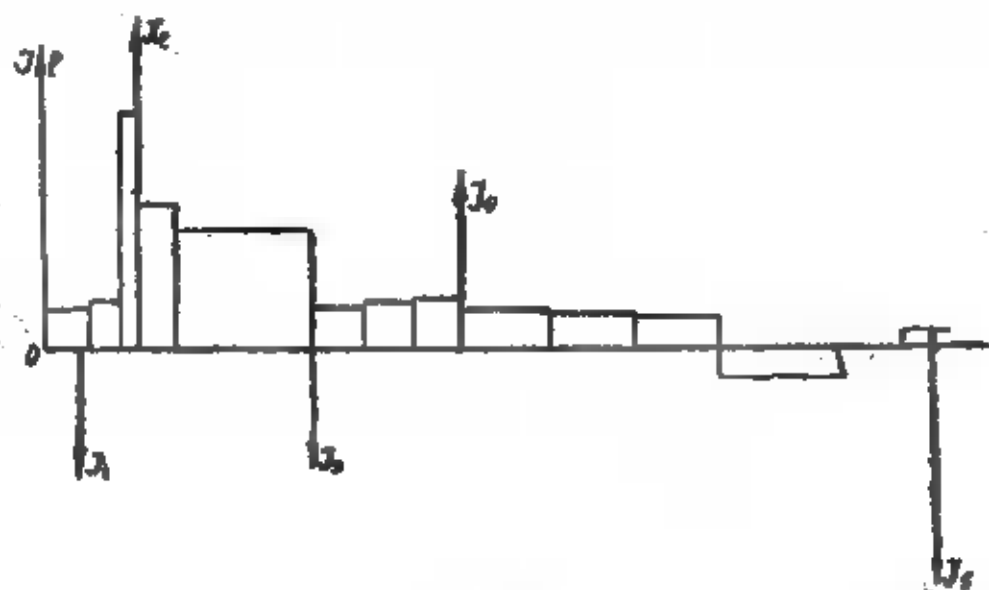


圖30 動力冲量圖解。

解。圖 32 所示圖解表明在連發射擊時武器的位移 x_n 。這一圖解用另一比例尺可以得出緩沖器彈簧壓縮力 Π_n 。

如果自動機活動部分（槍機框或槍管和槍機）速度變化規律為已知的話，便可以應用上述確定冲量動力圖解的作圖法。然而，動力冲量圖也可以根據武器彈性緩沖時的位移圖解求出。

如果武器在槍膛軸線方向上的位移座標 x_n 隨時間 t 變化函數關係式（圖 33）是已知的，並且緩沖器彈簧剛度和彈簧預壓力也是已知的，那麼用這些諸元作動力冲量圖解時，可按下列步驟進行：

1. 過橫座標軸所截的相等綫段的末端作若干垂綫（圖 34）并使一條垂綫通過 $x_n = f(t)$ 曲綫之最大縱座標。

2. 由 $x_n = f(t)$ 曲綫的最大縱座標向縱座標軸引一條垂綫交于點 a_0 。

3. 由相鄰的縱座標的末端向縱座標軸引一條垂綫并向左延長此垂綫。

4. 在此垂綫的延長綫上求出 a_1 點，以便使三角形 $a_1 a_0 O_1$ 是等邊三角形并使三角形的頂角等于用下述公式求出的角：

$$\Delta\beta = k p a_{t1}$$

情況下利用由紙剪成的样板(圖35)可以很方便地求出點 a_1 。使样板上的點 c 與圖上的點 a_0 重合并以這些點為軸轉動样板直至样板上的綫 cd 與縱座標軸重合為止，便可以求出保證滿足作圖時所要求的條件的點 O_1 和 a_1 。

5. 由曲綫 $x_n = f(t)$ 的下一縱座標末端向縱座標軸作垂綫并向左延長。

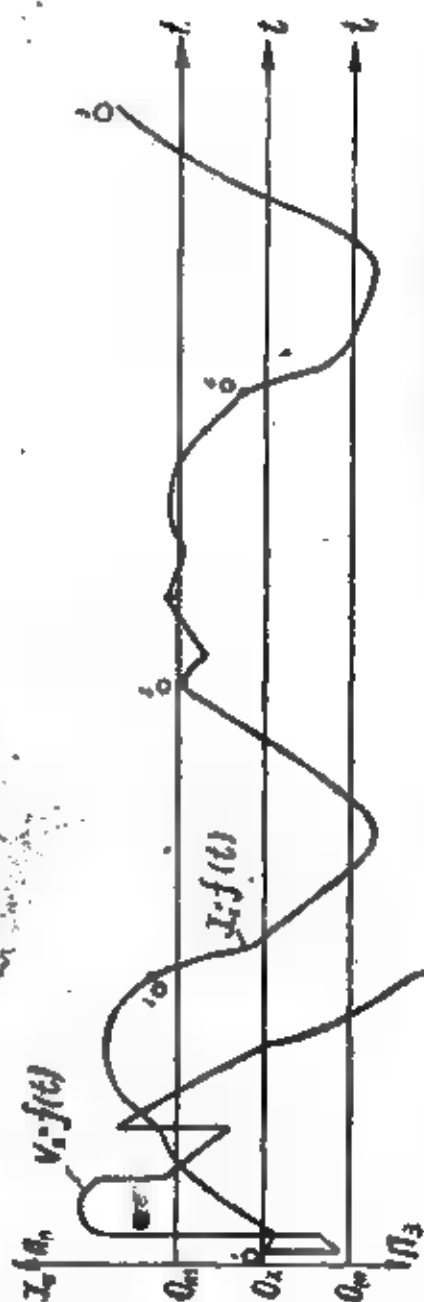


圖32 表明武器位移 x_n 和緩沖器彈簧壓縮力 Π_n 隨時間變化的圖解(曲綫 $x_n = f(t)$ 的座標原點是點 O_n ，而曲綫 Π_n 的座標原點是點 O_{n0} (當緩沖器工作時)，而當復進緩沖器工作時，座標原點為 O_{nn})。

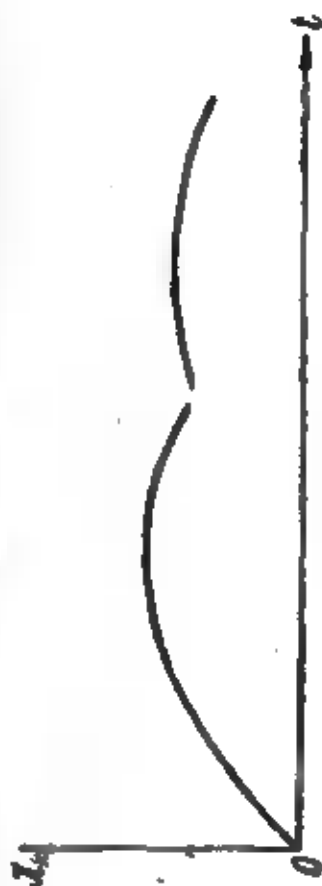


圖33 $x_n = f(t)$ 的圖解。

6. 現在使样板上的一点 c 与所求得的点 a_1 重合并以这些点作起点轉动样板，便可以求出两个新点 O_2, a_2 ，这些点同样可以保证滿足作圖时所要求的条件。

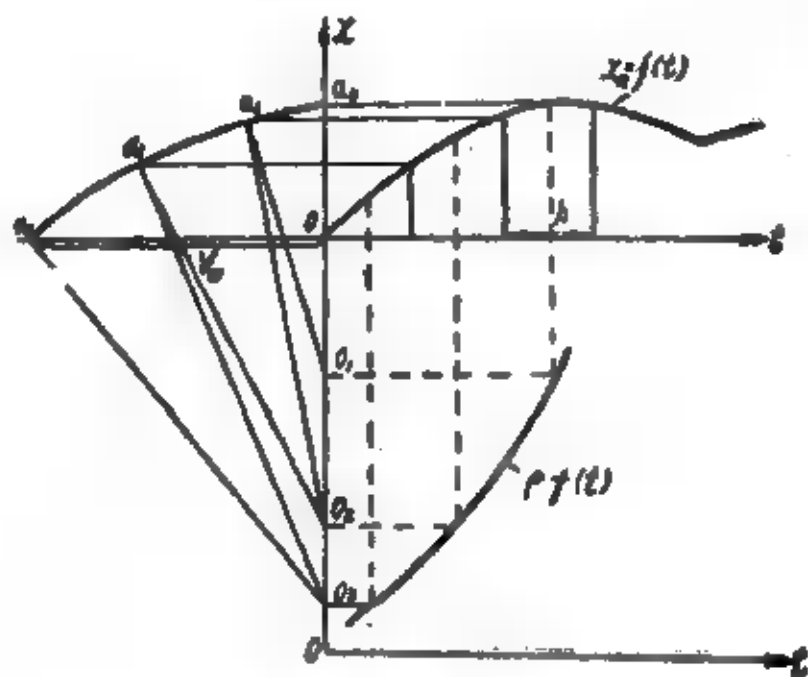


圖34 動力冲量圖解的作圖法。

7. 用类似的方法繼續作圖，还可以获得一对点 O_3, a_3 等。

現在用平滑曲綫联接所获得的各点 a_0, a_1, a_2, \dots ，那么，此曲綫将給出速度 V_x 与座标 x_x 的圖解关系。圖中与速度成比例的綫段用 $\alpha_v = \alpha_x \rho$ 比例尺表示。



圖35 作圖样板。

如果現在过横座标軸上的所有綫段 h （这些直綫在圖上是用虛綫表示的）的中点作垂直綫并由相对应的各点 O_1, O_2, O_3 等向这些垂直綫引垂直綫，那么，这些垂直綫的交点就是曲綫 $P = f(t)$ 的

各点。此曲线即表示自动机工作时作用于武器机匣上的力以时间为函数的关系（以点 O' 为坐标原点）。图中线段 OO' 表示缓冲器弹簧预压量。

以同样的方法，对曲线 $x_k = f(t)$ 的右半部作图，便可以获得在武器后座和复进时间内的完全图解 $P = f(t)$ 。

在后座开始作图34的图解时，如 $t = 0$ 和 $x_k = 0$ ，武器的速度 V_{k1} 用比例尺为 α_v 的线段 Oa_1 表示。知道此速度和武器在发射前的速度 V_{k0} ，便可以确定赋予武器以动量增量之冲量值（后座开始时）。

显然，该冲量值可以根据下一公式求出：

$$I_k = M_k(V_{k0} + V_{k1})。$$

■冲量在图上可以用比例尺为 α_i 的 $P = f(t)$ 表示之。

动力冲量图解也可以根据表明武器机匣速度以时间为函数 $V_k = f(t)$ 的图解画出（图36）。

在这种情况下，应该按照图36所示的那样来配置图解 $V_k = f(t)$ 并应进行如下的作图：在水平轴和垂直轴 (O_v 和 O_x) 上自点 O_v 和 O_x 截取一不大的线段，这些线段以比例尺 α_t 代表不大的时间增量 Δt 。由线段末端沿垂直轴引若干水平线使之与曲线 $V_k = f(t)$ 相交。在水平轴上由线段末端引若干垂线。再由所作的水平线与曲线 $V_k = f(t)$ 的交点向下作垂线。其次需要做样板（图35），此时使样板角度为：

$$\Delta\beta = \Delta t \alpha_v。$$

现在利用点 a_0 ，在极端的垂线上利用样板求出垂直轴上相应点 O_1 并在下一垂线上求出点 a_1 。依此法利用样板求出点 O_2 和 a_2 等。

由点 O_x 向下截取线段

$$O_x O_p = \frac{f_0}{\alpha_x}，$$

式中

f_0 ——缓冲器弹簧预压量；

α_x ——綫性作圖比例尺 (如果速度用比例尺 α_v 表示, 那么, $\alpha_x = \frac{\alpha_v}{p}$, 式中 p ——圓周振動頻率)。

如果現在由点 O_p 作一水平軸并經過点 O_1, O_2, O_3 作水平綫, 使它与相应的平均垂綫相交, 那么可以获得座标原点为 O_p 的动力圖, 圖中的力用比例尺 $\alpha_p = \alpha_x \eta$ 来表示。

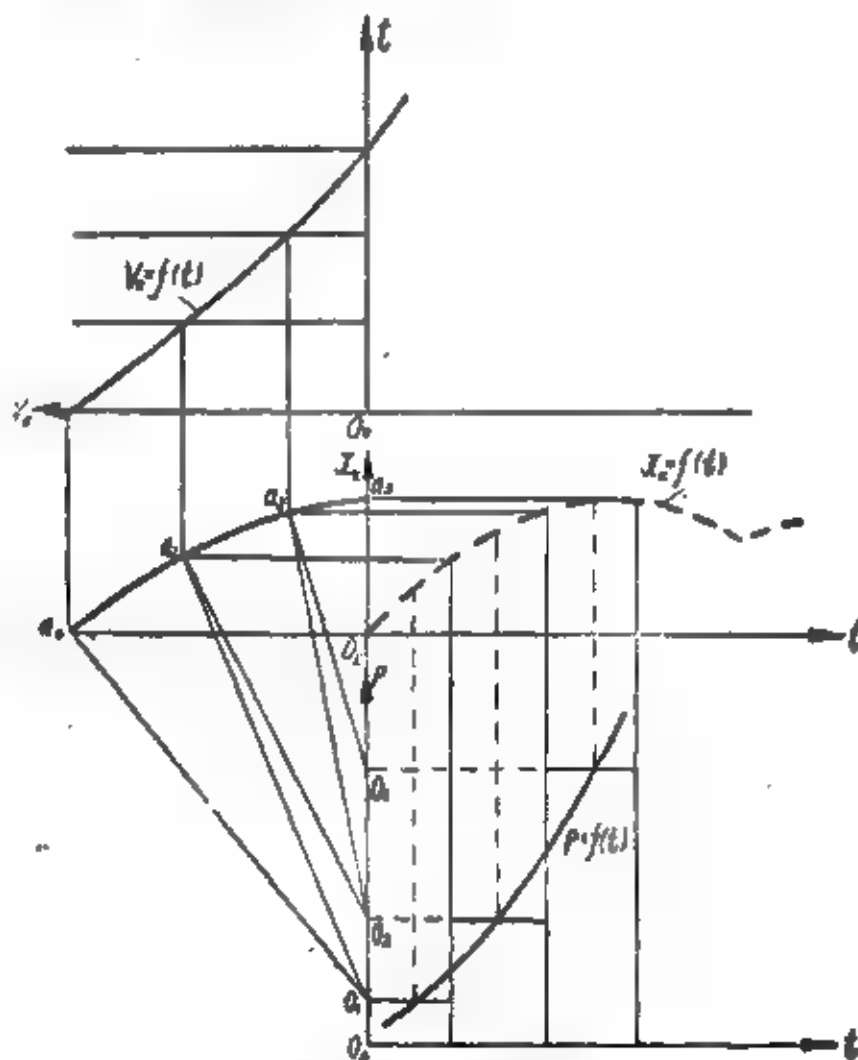


圖36 动力冲量圖的圖解确定。

如果速度劇烈变化时, 那么應該如同应用上述的方法时一样求出力的冲量并将它們标記在圖解上。

我們指出, 应用所述方法, 可以容易地求出武器机匣位移以时间为函数之圖解 $x_x = f(t)$ 。在圖 36 上, 曲綫 $x_x = f(t)$ 用虛綫表示。

这样一来，根据作圖和簡單的計算，可以求出表明自动机工作时作用于武器机匣上的随時間平穩变化的各种力和冲量的动力冲量圖解(緩冲器彈簧彈力除外)。把所获得的动力冲量圖解称为有条件的动力冲量圖解，以区别于根据自动机計算結果而作出的动力冲量圖解。我們將后者称为給定的动力冲量圖解。

在所述的条件动力冲量圖解中已考虑到后座和复进时作用于武器上的摩擦力。但是，这有时是不利的，因为这些摩擦力的符号随武器运动方向改变时是会变化的，这随緩冲器彈簧剛度的不同可能發生在各个不同的瞬間。为了精确地考虑后座时在武器定向零件上所產生的摩擦力，可以单独來計算和考虑这些摩擦力。

計算这些摩擦力可以用上述的圖解分析法进行之，同时利用在自动机不工作的条件下●记录武器發射后运动的位移坐标时試驗所得的圖解 $x_2 = f(t)$ 。

用这样方法获得的摩擦力可以通过适当改变緩冲器彈簧預压量的方法加以計算。

显然，后座时和复进时緩冲器彈簧預压量可以根据下列公式求出：

$$\text{后座时 } f'_0 = f_0 + \frac{R_0}{\eta}; \text{ 复进时 } f'_0 = f_0 - \frac{R_n}{\eta},$$

式中 R_0 和 R_n ——后座和复进时在武器定向零件上所产生的摩擦力。

如果动力冲量圖解根据整个武器的位移确定，并且曲线 $x_2 = f(t)$ 沒有極大值，那么对于此曲线上的某一点需要求出对時間的 x_2 —阶导数，亦即以比例尺 α_v 把速度記于圖 $v_2 = f(x_2)$ 上求出速度。

如果采取下一假設：后座时整个武器的运动对自动机工作沒

● 运动速度变化和自动机工作时机匣定向滑板的反作用力对摩擦力的影响忽略不計。

有影响，則用上述方法所获得的条件动力冲量圖解可以作为求数个圖解 $x_k = f(t)$ 的根据。这些圖解說明当在武器与具有不同剛度的彈性体連接的条件下后座时武器的运动。

为了說明如何根据給定的动力冲量圖解应用上述方法来研究緩冲器工作时自动武器的运动以及为了說明上述的計算动力冲量圖解的方法，我們列举一具体問題的解法。

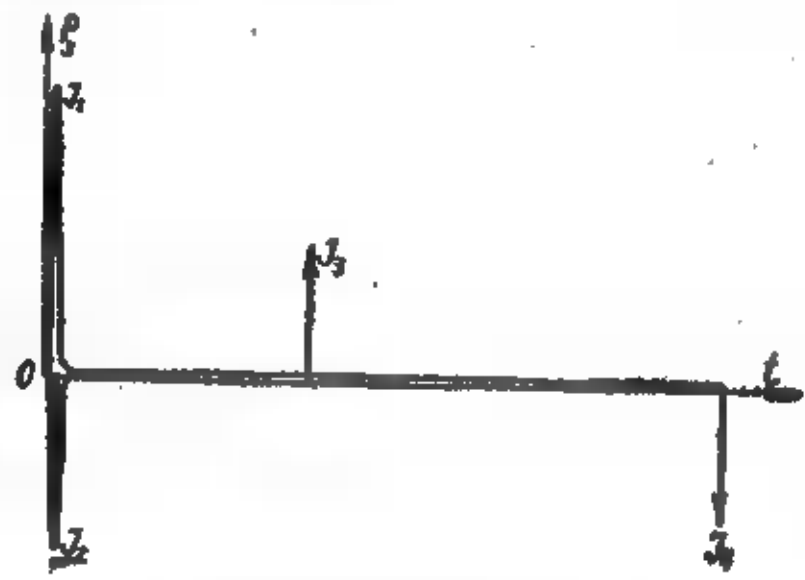


圖37 給定的动力冲量圖解。

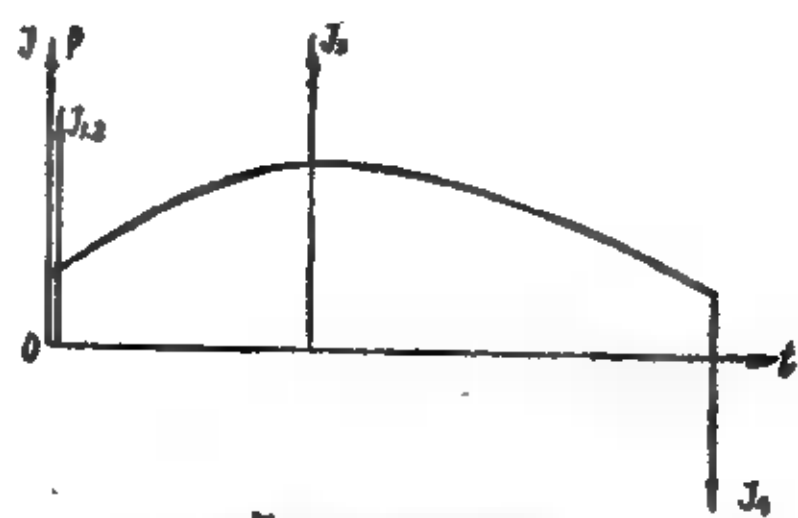


圖38 簡化动力冲量圖解。

我們假設，在机匣剛性連結的条件下，自动机工作时沿槍膛軸綫对武器机匣作用的力和冲量用圖 37 上所示的动力冲量圖解

表示。

我們把作用于槍膛底部和導氣箍前壁上的火藥氣體壓力換成相應的沖量并改變復進簧力比例尺，可得出圖38所示的簡化動力沖量圖解。

我們假設，緩沖器彈簧可以用下列數據表明之：

彈簧剛度系數 $\eta = 2.3 \text{ кг/мм}$;

預壓量 $f_0 = 7 \text{ мм}$;

武器機匣質量 $M_k = 1 \frac{\text{кг} \cdot \text{сек}^2}{\text{мм}}$ 。

確定武器位移座標為時間函數的圖解所必需的作圖示于圖39中(左部和中部)。由作圖而獲得的曲線 $x = f(t)$ 是表示武器為時間函數的位移，而座標原點為 O_x 。此曲線同時也表明后座力變化規律，此時座標原點為 O_n 。

$x = f(t)$ 的圖解右部都是根據武器位移座標為時間函數的給定規律確定動力沖量圖解所必需的作圖。進行這些作圖時利用由圖39所列的作圖中得出的曲線

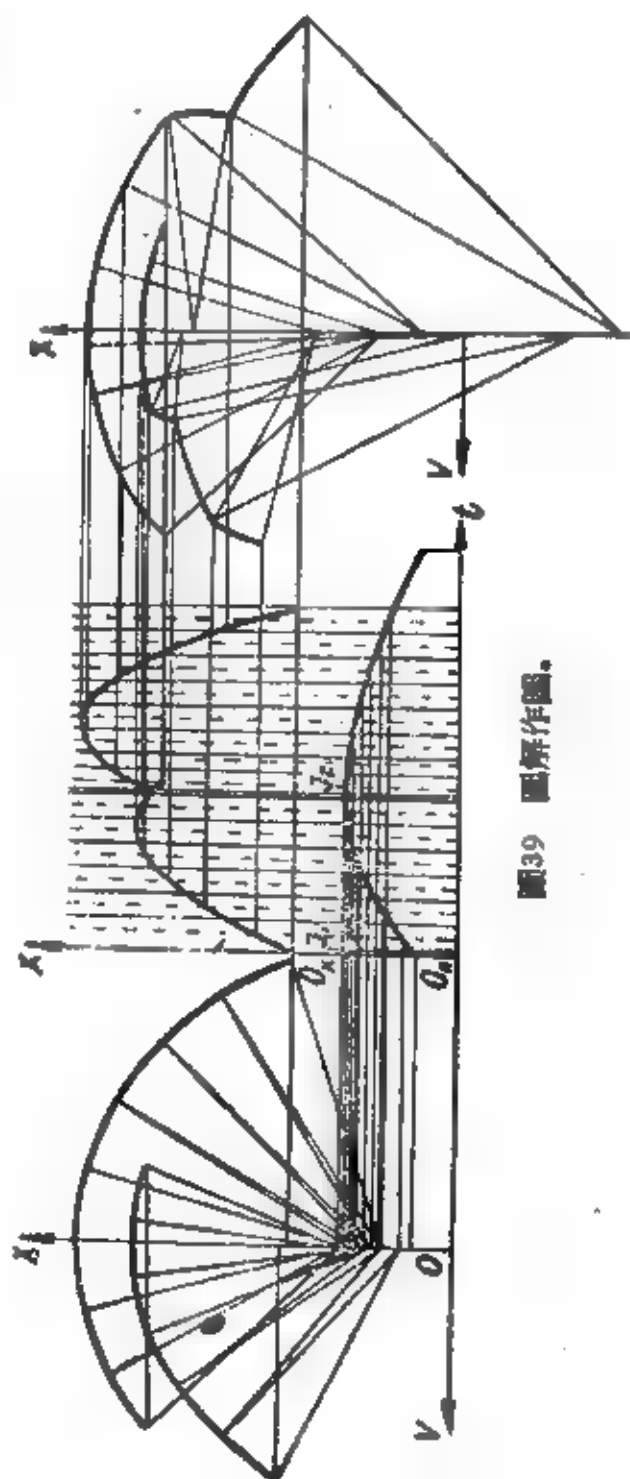


圖39 圖解作圖。

(中間) 作为給定曲綫 $x = f(t)$ 。

所获得的动力冲量圖解(圖40)在外形上与給定的冲量动力圖解(圖38)有显著的区别, 然而这两个圖解对于所研究的緩冲器彈簧刚度来講都能保証获得同样的曲綫 $x = f(t)$, 这从所列的作圖中可以証实。

为了說明和証实利用所求出的条件动力冲量圖解(圖40)能够确定在用另外的緩冲器彈簧特征数时 ($\gamma = 4.6 \text{ kg/mm}, f_0 = 3.5 \text{ mm}$) 武器位移座标变化規律。圖41示有根据給定的动力冲量圖解(圖38)及条件动力冲量圖解(圖40)曲綫 $x = f(t)$ 的作圖。

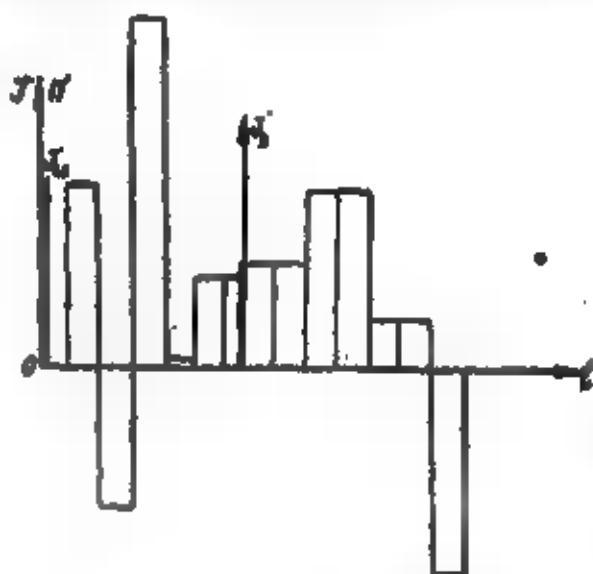


圖40 条件动力冲量圖解。

在中間圖上利用条件动力冲量圖解而获得的曲綫 $x = f(t)$ 是用实綫表示的。小圓圈表明利用給定的动力冲量圖解而获得的此曲綫各点。这些圖解作圖清楚地表明了利用条件动力

冲量圖解来确定緩冲器工作时自动武器运动性質 (用各种不同的緩冲器彈簧特征数) 和确定后座力作用大小和性質的可能性。

圖41所列的圖解作圖还給出关于所应用的方法精度的概念。圖42和43中列有用近似圖解法求出的曲綫 $x = f(t)$ 和由于計算緩冲器工作并同时考虑到緩冲器工作和自动机工作相互影响所获得的曲綫 $x = f(t)$ (虛綫)。

这些圖解表明, 利用研究緩冲器工作的近似圖解分析法計算最大后座力和研究自动机和緩冲器工作时自动武器的运动是有足够的精确性的。

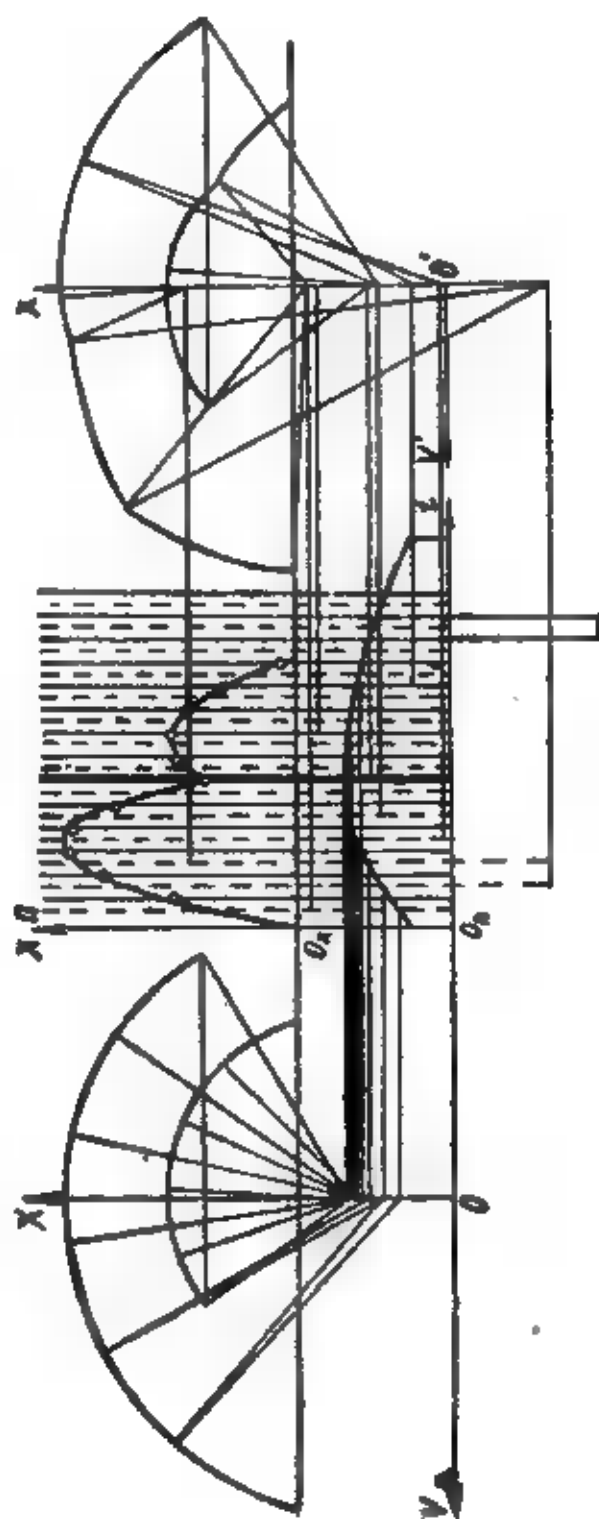


圖41 圖解作圖。

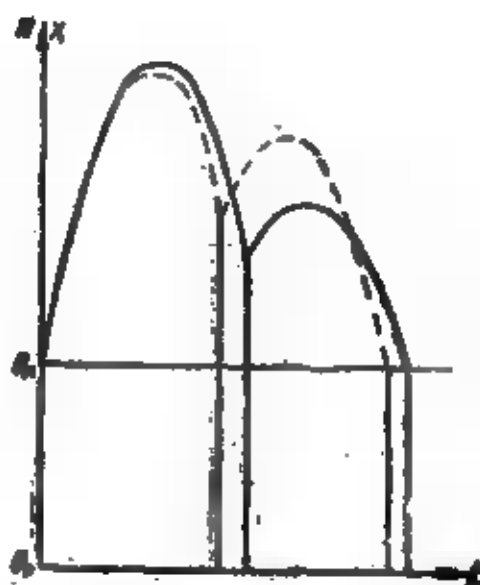


圖42 $\pi = f(t)$ 和 $x = f(t)$ 的圖解。

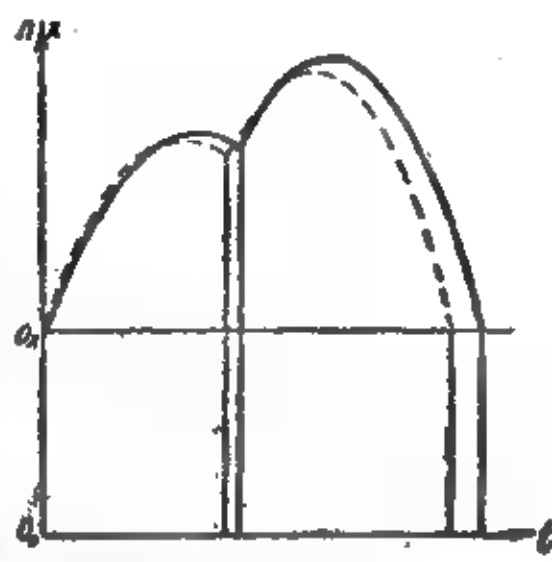


圖43 $\pi = f(t)$ 和 $x = f(t)$ 的圖解。

§3 武器緩冲对自动机工作的影响

我們研究一下自动武器緩冲器工作对自动机工作的影响。自动武器使用經驗証明，整个武器的連結条件（武器的剛性連結或緩冲連結）对自动机工作有显著的影响，能改变各机构工作可靠性，零件寿命和射击速度。

为了說明整个武器連結条件对自动机工作影响的实質，我們再討論一下导气式自动机工作原理圖。

研究这一种自动机工作时曾得出說明武器机匣在剛性連結条件下（圖8）和武器在彈性緩冲的条件下（圖13）为時間函数的槍机框位移座标圖解。

比較这些圖解（圖44）可以看出，武器緩冲时自动机工作特点主要是槍机框向后运动的速度增大，槍机框絕對全位移增大和槍机框在后方位置时撞击前和撞击后的速度之比改变。

自动机工作的这些特点导致槍机框复進和后座复進時間比値改变并使自动机工作循环時間發生某些变化。对上述所研究的导气式自动机而言，武器的緩冲使槍机框向后运动時間减小22%。

同时，枪机框向前运动的时间少許增加。自动机工作循环时间减小了。这些結果不是偶然的，它表明武器缓冲对导气式自动机工作的影响的一定规律性（如果缓冲器工作循环时间小于自动机工作循环时间）。

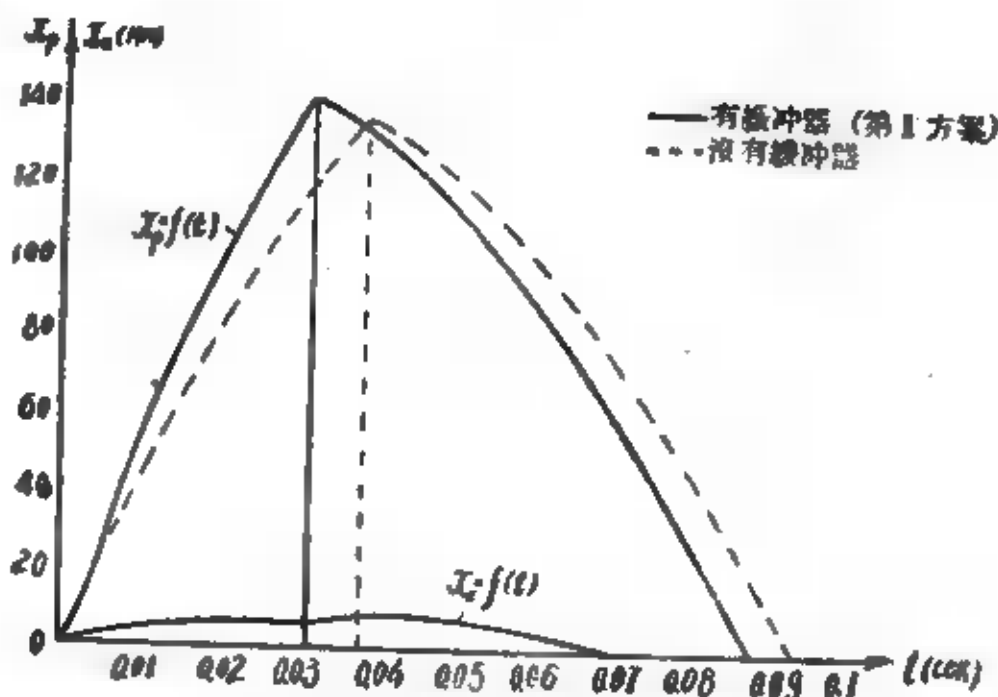


圖44 $p_p = f(t)$ 和 $x_k = f(t)$ 圖解。

武器缓冲时枪机框向后运动的速度增大的原因是：当导气箍内的火藥气体压力开始作用时，以及枪机与枪机框连接的瞬間，整个武器發生了运动，因而使枪机框和枪机获得一些附加初速。

武器缓冲时枪机框全位移的增大是由当枪机框到达后方位位置时武器机匣相对于發射时的位置通常發生移动（由于整个武器运动的結果）而决定的。

■ 冲时，枪机框在后方位位置撞击前和撞击后速度比值的改变是此撞击条件变化的結果，■ 为武器缓冲时枪机框在后方位位置發生撞击的时候武器机匣亦获得某一附加速度。

■ 图15所示的計算曲綫即說明用各种不同的缓冲器彈簧特征数时枪机框位移座标随時間变化的情形。这些曲綫說明缓冲条件对自动机工作的影响。

圖15所示的計算曲線說明武器在剛性連結的條件下和武器緩沖時，并當自動機工作條件發生了變化的條件下（導氣箍內的火藥氣體壓力作用強度減小了）槍機框位移座標隨時間變化的情形。武器剛性連結在該情況下自動機工作的特點為槍機框到達後方位置時與機槍機匣不發生撞擊。由圖（圖15）中可以看到，武器緩沖對自動機工作確有顯著的影响：由於武器緩沖時槍機框速度增大的結果，使射擊速度發生變化。

自動機在此情況工作時，槍機框在後方位置對機匣撞擊後的速度絕對值比撞擊前大。■為撞擊前機槍槍機框與機匣是作相向運動。這主要是由於武器緩沖時自動機工作循環時間劇烈減小所致。

上面所列的圖解說明，當自動機工作循環時間■大於緩沖器工作循環時間的情況下武器緩沖對自動機工作的影响。

如■自動機工作循環時間等於緩沖器工作循環時間，則■射時整個武器具有某一速度。武器的這一速度影响着槍機框的初速。如果在發射時整個武器的速度方向向後，那麼槍機框的速度增大而自動機工作循環時間減小。此外，如果緩沖器工作循環時間等於自動機工作循環時間，那麼槍機框向前運動時的絕對位移可能減小，因而縮短了自動機工作循環時間。

這些特點使武器緩沖對自動機的工作產生非常複雜的影响，在這種情況下不可能建立射擊速度變化的一般規律和與緩沖有關的其他自動機工作特征數變化的一般規律。

圖20所示的圖解說明導氣式自動機的武器緩沖時（緩沖器工作循環時間等於自動機工作循環時間），槍機框位移座標隨時間的變化情形。

分析一下這些圖解，便可以作出結論，如果在下一次發射的瞬間整個武器的速度方向向前，那麼自動機的主要部分向後運動的時間將增大。反之，如果在下一次發射的瞬間整個武器的速度方向向後，該時間將減小。整個武器的運動對自動機工作的影响

使自动机連擊时的工作不均匀。

圖21 a 所示圖解說明武器剛性連結和机槍緩冲时（緩冲器工作循环時間小于自动机工作循环時間），槍管后座式机槍的槍管和槍机位移座标随時間的变化。这些圖解清楚显示出武器連結条件对自动机工作的影响，特別表示出武器緩冲时，射击速度有所降低。

武器緩冲时（緩冲器工作循环時間小于自动机工作循环時間），射击速度的降低不是偶然的，而表明武器緩冲对槍管后座式自动机的工作影响的一个特点。此特点是由下面情况所决定的：在火藥气体压力作用時間內武器机匣的运动对自动机主要部分的运动（槍管和槍机的运动）实际上沒有显著影响，因为自动机的这些部分开始运动比火藥气体压力对与武器机匣相連結的槍口帽作用的时间早。

自动机工作循环時間对于所研究的緩冲器工作条件来講，通常是改变的。这是由于自动机主要部分对机槍机匣的撞击条件的改变以及自动机主要部分（槍管和槍机）絕對位移的增大的緣故。

对于武器緩冲来講，自动机主要部分撞击条件的改变（与武器剛性連結相比較时）对撞击后速度值影响不同，这視撞击前和撞击后机槍机匣看自动机主要部分的速度方向和数值而定。然而对于槍管后座式机槍的自动机工作来講，自动机主要部分和机槍机匣在撞击前和撞击后的速度值和方向通常能保証自动机主要部分（槍管和槍机）向前运动时的速度减小。这就增大了运动的时间。

自动机主要部分向前运动的时间的增大是自动机工作循环時間增大的主要原因，也是武器在緩冲的条件下射击速度减小的主要原因。武器緩冲时，因整个武器位移而引起的槍机絕對位移的增大也能使自动机工作循环時間增大。

如果緩冲器工作循环時間等于自动机工作循环時間，那么整

个武器在發射瞬間由于前一次發射时緩冲器工作的結果而具有的速度，对自动机主要部分的运动亦产生影响。在該种情况下，自动机主要部分运动开始时有一个初速，此初速就是整个武器在發射瞬間所具有的初速。

圖21 (6, 6, 1) 所示的圖解說明在各种緩冲情况下自动机主要部分（槍管和槍机）位移座标以时间为函数的变化。此时緩冲器工作循环時間等于自动机工作循环時間。

分析一下这些圖解，便可以看出，如果在發射时整个武器的速度方向向前，那么自动机工作循环時間显著增大。反之，如果在發射时整个武器的速度方向向后，那么自动机工作循环時間减小。在这方面自动机工作的最有代表性的情况示于速度圖中（圖21: 1）。

如果緩冲器工作循环時間等于自动机工作循环時間，則自动机主要部分的绝对位移亦取决于整个武器的运动性質并且具有不同的变化。

所有这些使武器緩冲对自动机的工作有不稳定的影响，并且不可能确定出此影响的一般規律。

上述的关于武器緩冲对自动机工作的影响的見解表明此影响的質和量方面的問題。

質方面的影响証明，武器自动机原理不同，緩冲对自动机工作条件的影响也不同。如果自动机为槍管后座式之武器的緩冲使射击速度减小，使射击时的故障减少，并使零件的寿命增長，則导气式自动机的武器的緩冲使射击速度增大，因而使武器零件寿命縮短，使射击时的故障增多。

應該指出，武器緩冲在質的方面对自动机工作的影响这一特点只符合于或接近于緩冲器彈簧具有較小的預壓力和較小的剛度的緩冲条件。

应用彈簧剛度大的緩冲器或其他彈性零件时，武器緩冲在質的方面对自动机工作影响的情况可能与此不同。

武器緩冲在数量方面对自动机工作的影响証明，緩冲对武器所有特征数的影响都是很大的，在作所有各种自动武器的試驗和研究时都应该考虑到这种影响。

特別是在数量方面所得結果表明，計算自动机时如不考虑整个武器的运动，則在理想条件下武器緩冲所得之自动机工作特征数与实际值将大不相同。

第二章 自动武器的射击稳定性

§1 射击时武器稳定性的概念

在自然的射击条件下以一定的精确度保持射击前所瞄准的位置的能力叫做自动武器的稳定性。

由此定义应当看出，在谈到自动武器稳定性的时候若避而不谈它与枪座或射手的关系是不可能的。因此，在说明稳定性时一定要指出射击条件（支持在肩上射击或架设于枪架或枪座上射击）。

自动武器的稳定性对射击精度有很大的影响，但是射击精度并不完全取决于自动武器的稳定性，因为射击精度在很大的程度上还取决于枪弹的性能，枪管的振动等。

由于射击精度受稳定性的影响很大，因此可以利用精度的某些特征数（射击密集度）来说明射击时武器的稳定性。

但是，由于上述的原因，射击密集度不能完全表明任何一种自动武器射击时的稳定性。

连发射击的手提式自动武器（自动步枪，轻机枪）的射击密集度几乎完全决定于射击时武器的稳定性。重机枪的射击密集度与射击时武器的稳定性也有很大的关系，虽然它还取决于其他的因素。

自动武器的稳定性可以用理论的方法和试验的方法来研究。

武器稳定性的试验研究在于记录射击时武器的空间位移。此记录可以用各种不同的方法来进行。

对自动武器的稳定性作试验研究时消除与射手有关的各种偶然因素对武器稳定性的影响，保证各种条件下皆能获得稳定的射击结果是非常重要的。为此，可以把武器安在模拟射手或枪座上而

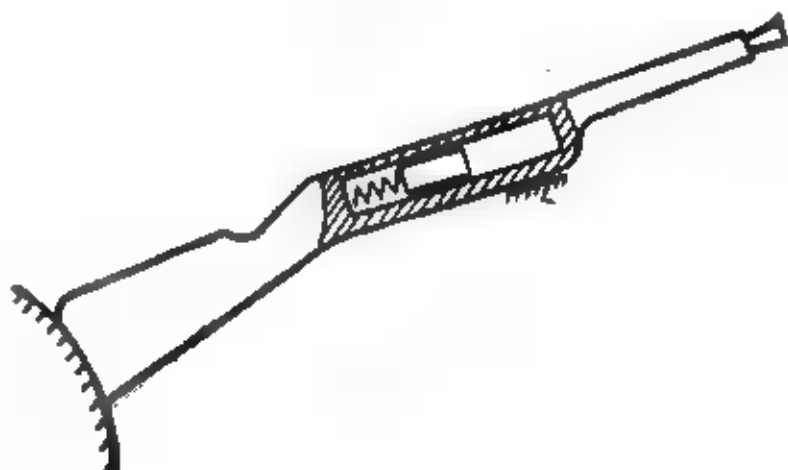


圖45 手提武器原理圖。

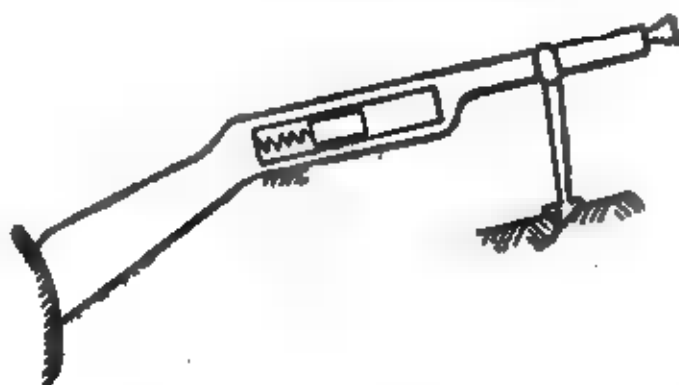


圖46 手提武器原理圖。

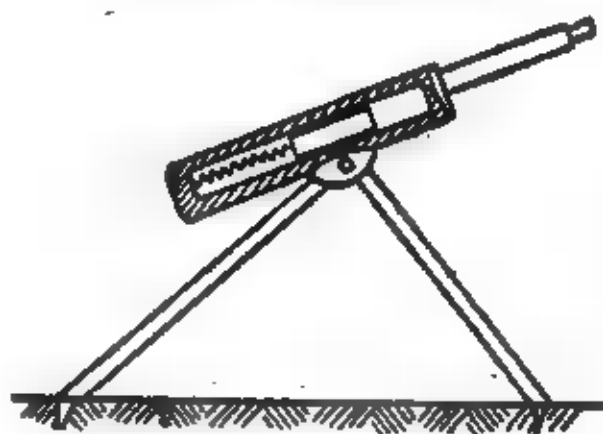


圖47 重机枪原理圖。

制造的專用儀器上。

對自動武器在射擊時穩定性作理論研究時考慮影響穩定性的所有主要因素是非常重要的，而對穩定性影響不大的許多因素可以忽略不計。

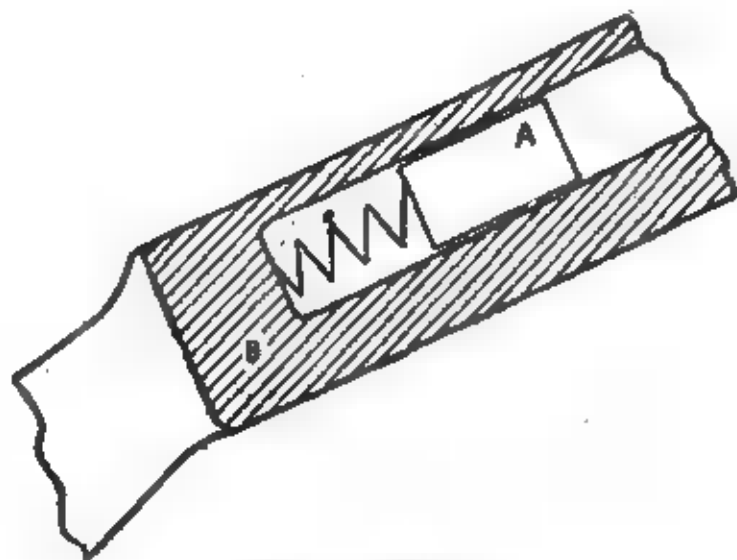


圖48 一般原理圖。

后者对于簡化理論研究是很重要的，因为在进行理論研究时只考虑主要因素仍然是相当复杂的。

研究一下手提武器和重机枪的射击条件，并分析一下自动机活动部分和整个武器运动配合的具体原理圖（圖45, 46, 47），便可建立簡化的原理圖，如果采用某些假設，則这些簡單的原理圖就可以代替真实的圖。

为了說明連續射击时影响自动武器射击稳定性的主要因素我們討論一下最簡單的原理圖（圖48），因为真正的自动武器主要机构圖可以近似地化成这样的原理圖。

同时，分別研究一下自动机活动部分的撞击和自动机活动部分的平稳运动（沒有撞击的运动）对武器稳定性的影响。

§2 自动机各部分的撞击对射击时 自动武器稳定性的影响

为了說明自动机各部分的撞击对射击时自动武器稳定性的影响，我們討論一下圖49所示的原理圖。

在这一路圖上构件A（槍机，槍管或槍机框）在定向构件B（机匣）上移动并在b点上与构件B撞击。我們首先假設，撞击时所产生的冲量作用在同一平面內，而构件A与B的質量中心

(点 A 和点 B) 亦在此平面内, 而槍膛軸綫的方向是水平的。

圖 49 上的 x_{A1} , x_{A3} , y_{A2} 表示冲量 I_1 , I_2 , I_3 对构件 A (点 A) 質心的座标, 而 x_{B1} , x_{B3} , y_{B2} 表示上述冲量作用点对构件 B 質心(点 B)的座标。 ε 和 h 表示构件 A 的質心 (点 A) 对构件 B

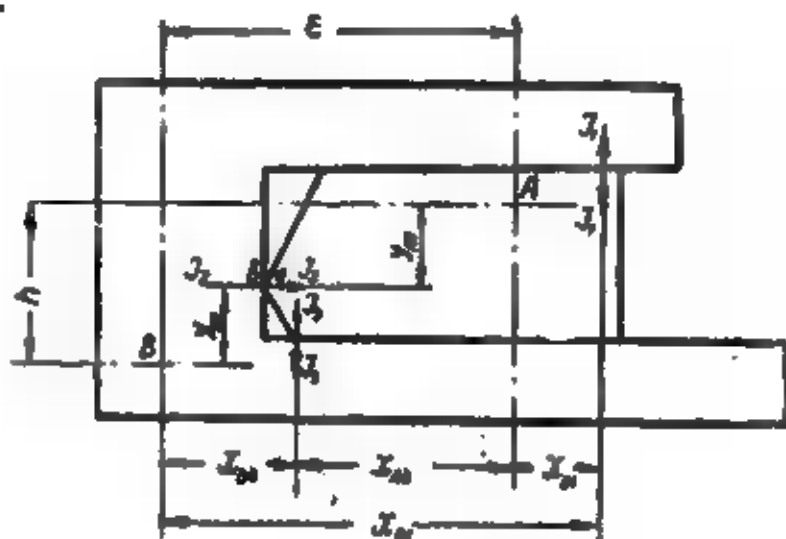


圖49 撞击原理圖。

質心 (点 B) 的座标。利用古典的撞击理論, 除撞击时所引起之反作用力外, 其他諸力均忽略不計, 便于写出求每个构件动量矩方程如下:

$$I_A(\omega' - \omega) = I_2 y_{A2} - I_1 x_{A1} - I_3 x_{A3} \quad (1)$$

$$I_B(\omega' - \omega) = I_1 x_{B1} - I_2 y_{B2} - I_3 x_{B3} \quad (2)$$

每个构件的質心动量在水平方向和垂直方向上的改变量等于力的冲量投影之和

$$M_A(V'_{Ax} - V_{Ax}) = -I_2 \quad (3)$$

$$M_A(V'_{Ay} - V_{Ay}) = I_3 - I_1 \quad (4)$$

$$M_B(V'_{Bx} - V_{Bx}) = I_2 \quad (5)$$

$$M_B(V'_{By} - V_{By}) = I_1 - I_3 \quad (6)$$

式中

ω 和 ω' ——撞击前和撞击后 构件 A 和 B 的角速度;

$I_A; I_B$ ——构件 A 和 B 对构件質心的轉動慣量;

$V_{Ax}; V'_{Ax}; V_{Bx}; V'_{Bx}$ ——撞击前和撞击后构件 A 和 B 的質心速度在水平軸 x 上的投影;

$V_{Ay}; V_{By}; V'_{Ay}; V'_{By}$ ——撞击前和撞击后构件 A 和 B 的質心速度在垂直軸上的投影;

$M_A; M_B$ ——构件 A 和 B 的質量。

把方程式 (1) 和 (2) 的右边和左边相加, 則得

$$(I_A + I_B)(\omega' - \omega) = I_2(y_{A2} + y_{B2}) + I_1(x_{B1} - x_{A1}) - I_3(x_{A3} + x_{B3})。$$

但

$$y_{A2} + y_{B2} = h; x_{B1} - x_{A1} = \xi; x_{A3} + x_{B3} = \xi。$$

因而, 后一方程式可以写成:

$$I(\omega' - \omega) = I_2 h + (I_1 - I_3) \xi, \quad (7)$$

式中

$$I = I_A + I_B。$$

利用方程式 (3), (4), (5), (6) 并消去未知的約束反作用力, 則得

$$I(\omega' - \omega) = M_A[h(V_{Ax} - V'_{Ax}) + \xi(V_{Ay} - V'_{Ay})]; \quad (8)$$

$$M_A(V_{Ax} - V'_{Ax}) + M_B(V_{Bx} - V'_{Bx}) = 0; \quad (9)$$

$$M_A(V_{Ay} - V'_{Ay}) + M_B(V_{By} - V'_{By}) = 0。 \quad (10)$$

除这些公式外, 还可以利用計算恢复系数的公式

$$\frac{V'_{ax} - V'_{bx}}{V_{ax} - V_{bx}} = -b \quad (11)$$

式中 b ——构件 A 和 B 在点 a 看点 b 上撞击时的恢复系数;

$V_{ax}; V'_{ax}$ ——撞击前和撞击后构件 A 的点 a 速度在水平軸上的投影;

$V_{bx}; V'_{bx}$ ——撞击前和撞击后构件 B 的点 b 速度在水平軸上的投影。

計算恢复系数的公式 (11) 應該由所研究的构件質心的速度表示。为此目的, 我們討論一下原理圖 (圖 50), 在圖上示有

撞击前和撞击后点 A , B , a , b 的速度, 并指出撞击前 (O_A 和 O_B 点) 和撞击后 (O'_A 和 O'_B 点) 构件 A 和 B 瞬时迴轉軸的位置。瞬时迴轉軸 (O_A 和 O_B , 以及 O'_A 和 O'_B) 在垂直線的位置配置根据是: 点 a 和点 b 速度的垂直分速无論是在撞击前和撞击后都是相等的, 虽然, 撞击时这些速度是在变化的。

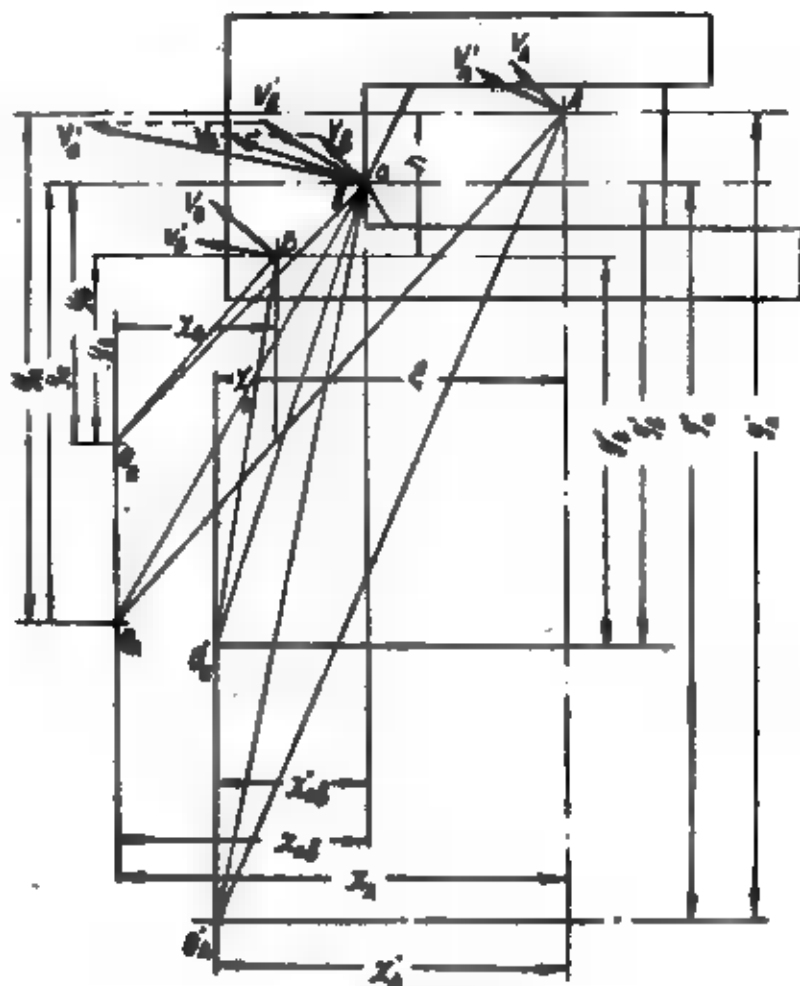


圖50 瞬时迴轉軸的位置。

利用原理圖 (圖 50), 就可以写出撞击前和撞击后的速度方程:

$$\begin{aligned} \frac{V_{ax}}{y_a} = \frac{V_{Ax}}{y_A} = \omega; & \quad \frac{V'_{ax}}{y'_a} = \frac{V'_{Ax}}{y'_A} = \omega'; \\ \frac{V_{bx}}{y_b} = \frac{V_{Bx}}{y_B} = \omega; & \quad \frac{V'_{bx}}{y'_b} = \frac{V'_{Bx}}{y'_B} = \omega'. \end{aligned}$$

由这些等式中求出

$$V_{ax} = \omega y_a; \quad V_{bx} = \omega y_b;$$

$$V_{Ax} = \omega y_A; \quad V_{Bx} = \omega y_{Bo}$$

即

$$V_{ax} - V_{bx} = \omega (y_a - y_b) = \omega (O_A O_B),$$

$$V_{Ax} - V_{Bx} = \omega (y_A - y_B) = \omega (O_A O_B + h).$$

因而,

$$V_{Ax} - V_{Bx} + V_{bx} - V_{ax} = \omega h$$

或

$$V_{ax} - V_{bx} = V_{Ax} - V_{Bx} - \omega h. \quad (12)$$

同样可以写出求撞击后的速度的公式

$$V'_{ax} - V'_{bx} = V'_{Ax} - V'_{Bx} - \omega' h. \quad (13)$$

将所求得的速度差值代入求恢复系数的公式中, 则得

$$\frac{V'_{ax} - V'_{bx}}{V_{ax} - V_{bx}} = \frac{V'_{Ax} - V'_{Bx} - \omega' h}{V_{Ax} - V_{Bx} - \omega h} = -b. \quad (14)$$

此公式亦可写成如下的形式:

$$\frac{V_{Ax} - V'_{Ax} - (V_{Bx} - V'_{Bx}) - (\omega - \omega') h}{V_{Ax} - V_{Bx} - \omega h} = 1 + b \quad (15)$$

但, 由公式 (9) 可得

$$V_{Bx} - V'_{Bx} = -\frac{M_A}{M_B} (V_{Ax} - V'_{Ax}).$$

将 $V_{Bx} - V'_{Bx}$ 值代入公式 (15), 则得

$$\frac{(V_{Ax} - V'_{Ax}) \left(1 + \frac{M_A}{M_B} \right) - (\omega - \omega') h}{V_{Ax} - V_{Bx} - \omega h} = 1 + b. \quad (16)$$

现在有四个方程式 (8), (9), (10), (16), 其中含有五个未知速度 ω' ; V'_{Ax} ; V'_{Ay} ; V'_{Bx} ; V'_{By} 。

为了得到求这些速度所必需的第五个方程式, 我们还需利用原理图 (图 50)。

根据此原理图可以写出下列等式:

$$\frac{V_{Ay}}{x_A} = \omega; \quad \frac{V'_{Ay}}{x'_A} = \omega'; \quad \frac{V_{By}}{x_B} = \omega; \quad \frac{V'_{By}}{x'_B} = \omega'$$

我们利用这些等式, 便可求出

$$V_{Ay} - V_{By} = \omega (x_A - x_B); \quad V'_{Ay} - V'_{By} = \omega' (x'_A - x'_B),$$

但

$$x_A - x_B = \xi \text{ 和 } x'_A - x'_B = \xi_0.$$

即

$$V_{Ay} - V_{By} = \omega \xi; \quad V'_{Ay} - V'_{By} = \omega' \xi_0.$$

由此求出

$$V_{Ay} - V'_{Ay} - (V_{By} - V'_{By}) = (\omega - \omega') \xi_0.$$

但, 由公式 (10) 可得:

$$V_{By} - V'_{By} = -\frac{M_A}{M_B} (V_{Ay} - V'_{Ay}).$$

因而,

$$(V_{Ay} - V'_{Ay}) \left(1 + \frac{M_A}{M_B}\right) = (\omega - \omega') \xi_0. \quad (17)$$

将 $V_{Ay} - V'_{Ay}$ 值代入公式 (8) 中, 則得

$$I(\omega' - \omega) = M_A h (V_{Ax} - V'_{Ax}) - \frac{M_A M_B}{M_A + M_B} (\omega' - \omega) \xi^2.$$

或

$$\left(1 + \frac{M_A M_B}{M_A + M_B} \xi^2\right) (\omega' - \omega) = M_A h (V_{Ax} - V'_{Ax}). \quad (18)$$

我們利用公式 (18) 和 (16) 可求出

$$\omega' - \omega = W_0 (1 + b) \frac{1}{h} \frac{\alpha}{1 + \alpha}, \quad (19)$$

式中引用下列符号:

$$W_0 = V_{Ax} - V_{Bx} - \omega h,$$

$$\alpha = \frac{h^2}{I \left(\frac{M_A + M_B}{M_A M_B} \right) + \xi^2}$$

利用公式 (18), (17), (9), (10) 可得:

$$V'_{Ax} - V_{Ax} = -\frac{W_0 (1 + b)}{1 + \frac{M_A}{M_B}} \frac{1}{1 + \alpha}; \quad (20)$$

$$V'_{Ay} - V_{Ay} = \frac{W_0 (1 + b)}{1 + \frac{M_A}{M_B}} \frac{\xi}{h} \frac{\alpha}{1 + \alpha}; \quad (21)$$

$$V'_{Bx} - V_{Bx} = \frac{W_0 (1 + b)}{1 + \frac{M_B}{M_A}} \frac{1}{1 + \alpha}; \quad (22)$$

$$V'_{By} - V_{By} = - \frac{W_0(1+b)}{1 + \frac{M_B}{M_A}} \cdot \frac{\xi}{h} \cdot \frac{a}{1+a} \quad (23)$$

利用公式 (19~23) 可以求出質心的綫速度在水平軸和垂直軸上的投影的改变量和撞击时所研究的物体角速度改变量。

研究自动机工作中自动武器稳定性对射击精度的影响时，最重要的是确定首先取决于撞击时角速度改变量的武器轉角。

因此，我們詳細地研究一下公式 (19) 并分析一下影响角速度改变量 $\omega' - \omega$ 的諸数值。

从公式 (19) 可得出結論，第一，当 $W_0 = V_{Ax} - V_{Bx} - \omega h = 0$ 时，第二，当 $h = 0$ 时， $\omega' - \omega$ 值等于零。第一个条件說明沒有撞击，第二个条件說明两个撞击体的質心位于同一水平綫上。

任何一个方程式中都不包含所研究的两个物体撞击点座标，因而，所研究的这两个物体撞击点座标不影响撞击时速度的改变，指出这一点是很有意思的。

我們分析一下所获得的許多方程式中含有的 $\frac{1+a}{a}$ 值。

代入之后，則得

$$\frac{Ha}{a} = \frac{1 + \frac{M_A M_B}{M_A + M_B} (\xi^2 + h^2)}{\frac{M_A M_B}{M_A + M_B} h^2} \quad (24)$$

此分数的分子表示两个撞击体对其公共質心的轉动慣量。

实际上，利用原理圖 (圖 51) 可以建立求两个撞击体質心座标的等式如下：

$$x_{BC} M_B = x_{AC} M_A, \quad y_{BC} M_B = y_{AC} M_A$$

或

$$x_{BC} (M_A + M_B) = \xi M_A,$$

$$y_{BC} (M_A + M_B) = h M_A$$

由此

$$x_{BC} = \frac{M_A}{M_A + M_B} \xi;$$

● 將 a 值代入公式 (19) 中之后，便可証实这一点。

$$y_{BC} = \frac{M_A}{M_A + M_B} h_0$$

两个撞击零件对其公共质心（C点）的转动惯量为：

$$I_C = I_A + I_B + M_B(x_{BC}^2 + y_{BC}^2) + M_A[(\xi - x_{BC})^2 + (h - y_{BC})^2]$$

将 x_{BC} 和 y_{BC} 值代入之后，则得

$$I_C = I_A + I_B + \frac{M_A^2 M_B}{(M_A + M_B)^2} (\xi^2 + h^2) + \frac{M_A M_B^2}{(M_A + M_B)^2} (\xi^2 + h^2)。$$

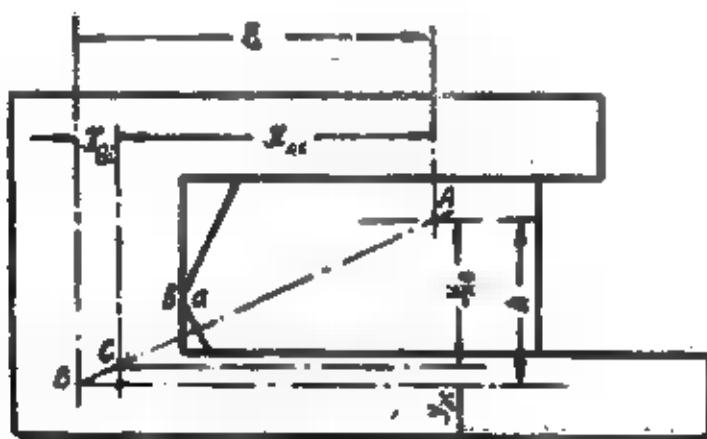


圖51 确定公共質心之原理圖。

由此，求出

$$I_C = I_A + I_B + \frac{M_A M_B}{M_A + M_B} (\xi^2 + h^2) = I + \frac{M_A M_B}{M_A + M_B} (\xi^2 + h^2)。$$

因而，

$$\frac{1+a}{a} = \frac{I_C}{\frac{M_A M_B}{M_A + M_B} h^2} = \frac{I_C}{M_B h y_{BC}}。$$

将所求得的 $\frac{1+a}{a}$ 值代入公式 (19) 中，则得：

$$I_C(\omega' - \omega) = W_0(1+b)M_B y_{BC}$$

或

$$I_C(\omega' - \omega) = W_0(1+b)M_A y_{AC}$$

上述的两个物体撞击的最簡單原理圖，可以代替自动机各部分在后方位置 and 前方位置时撞击的真实原理圖，并可以代替在火藥气体压力作用期整个武器运动和自动机各部分运动的真实原理圖（如果自动机的工作是以导气式原理为基础的）。在后一种情

况下，必須引用恢复系数的虚拟值。此虚拟值是根据研究武器在刚性連結条件下自动机的工作所得的試驗数据而求出的。

$$-\frac{W'}{W} = -b',$$

式中 W' ——火藥气体作用结束后，自动机活动部分离开前方位时的速度；

W ——發射前，自动机活动部分到达前方位时的速度。

我們看出， b' 值大于 1。

如果發射前，自动机活动部分位于前方位（發射前，自动机活动部分对于武器机匣的速度等于零），則

$$W_0 = V_{Ax} - V_{Bx} - \omega h = 0$$

和

$$1 + b = \frac{(V_{Ax} - V'_{Ax}) \left(1 + \frac{M_A}{M_B} \right) - (\omega - \omega') h}{V_{Ax} - V_{Bx} - \omega h} = \infty_0$$

在这种情况下为了求出撞击后的速度，需把下列值代入公式 (19~23) 中：

$$W_0(1 + b) = (V_{Ax} - V'_{Ax}) \left(1 + \frac{M_A}{M_B} \right) - (\omega - \omega') h_0$$

此时，将公式 (19~23) 化为如下形式

$$\omega' - \omega = (V_{Ax} - V'_{Ax}) \left(1 + \frac{M_A}{M_B} \right) \frac{\alpha}{h}; \quad (19a)$$

$$V'_{Ay} - V_{Ay} = (V_{Ax} - V'_{Ax}) \frac{E}{h} \alpha; \quad (21a)$$

$$V'_{Bx} - V_{Bx} = (V_{Ax} - V'_{Ax}) \frac{M_A}{M_B}; \quad (22a)$$

$$V'_{By} - V_{By} = (V_{Ax} - V'_{Ax}) \frac{M_A}{M_B} \frac{E}{h} \alpha. \quad (23a)$$

如果知道点 A 的绝对速度 V_{Ax} 和 V'_{Ax} ，应用这些公式是很方便的。

如果知道 A 点对 B 点的速度

$$V_{Ax} - V_{Bx} - \omega h \text{ 和 } V'_{Ax} - V'_{Bx} - \omega' h,$$

則最好应用下一公式

$$1 + b = \frac{V_{Ax} - V'_{Ax} - (V_{Bx} - V'_{Bx}) - (\omega - \omega') h}{V_{Ax} - V_{Bx} - \omega h}.$$

将乘积

$$(1+b)(V_{Ax}-V_{Bx}-\omega h)=[V_{Ax}-V'_{Ax}-(V_{Bx}-V'_{Bx})-(\omega-\omega')h],$$

代入公式 (19~23), 则得

$$\omega' - \omega = \psi \frac{1}{h} \frac{\alpha}{1+\alpha};$$

$$V'_{Ax} - V_{Ax} = -\frac{\psi}{1+\frac{M_B}{M_A}} \frac{1}{1+\alpha};$$

$$V'_{Bx} - V_{Bx} = \frac{\psi}{1+\frac{M_B}{M_A}} \frac{1}{1+\alpha};$$

$$V'_{Ay} - V_{Ay} = \frac{\psi}{1+\frac{M_B}{M_A}} \frac{\xi}{h} \frac{1}{1+\alpha};$$

$$V'_{By} - V_{By} = -\frac{\psi}{1+\frac{M_B}{M_A}} \frac{\xi}{h} \frac{\alpha}{1+\alpha},$$

式中

$$\psi = V_{Ax} - V'_{Ax} - (V_{Bx} - V'_{Bx}) - (\omega - \omega')h.$$

公式 (19~23) 还可用来计算受冲量载荷作用的物体的速度。

例如, 如果冲量载荷 i 沿 x 轴的方向作用于物体 B 上, 那么, 为了求出物体 B 的质心速度在坐标轴上投影 (V'_{Bx} 和 V'_{By}) 和物体 B 对于质心的角速度 ω' , 要取

$$M_A = 0; V_{Ax} = \infty; b = 0; M_A V_{Ax} = i.$$

此时, 将有 $\alpha = 0; \frac{\alpha}{1+\alpha} = \frac{M_A}{i} h^2$ 而公式 (19, 22, 23) 可以写成如下的形式:

$$\omega' - \omega = \frac{ih}{i}; \quad (196)$$

$$V'_{Bx} - V_{Bx} = \frac{i}{M_B}; \quad (226)$$

$$V'_{By} - V_{By} = 0. \quad (236)$$

确定在实际射击条件下自动机活动部分的各种撞击对手提式自动武器的稳定性的影响时, 可以利用所讨论的撞击图。

下面我們按照另外两种原理圖来研究撞击。这些圖能够說明安圖在專用槍架上的手提式武器自动机活动部分的各种撞击情况(圖52)以及重機槍自动机活动部分的各种撞击情况(圖53)(考虑到和不考虑土壤的彈性)。

对于圖54所示撞击圖来講, 可以写出如下的动量方程式:

$$I_A(\omega' - \omega) = I_1 x_{A1} + I_2 x_{A2};$$

$$I_B(\omega' - \omega) = I_2 x_{B2} - I_1 x_{B1} + I_0 h - I_0 x_{B0};$$

$$M_A(V'_{Ay} - V_{Ay}) = I_1 - I_2;$$

$$M_B(V'_{Bx} - V_{Bx}) = -M_A(V'_{Ax} - V_{Ax}) = I;$$

$$M_B(V'_{By} - V_{By}) = -I_1 + I_2 + I_0.$$

在这些方程式中:

I_A, I_B ——撞击体对其質心的轉动慣量;

M_A, M_B ——撞击体的質量;

ω, ω' ——撞击前和撞击后对于撞击体質心的角速度;

$V_{Ax}, V_{Ay}, V_{Bx}, V_{By}$ }——撞击体質心速度在座标軸上的投影;
 $V'_{Ax}, V'_{Ay}, V'_{Bx}, V'_{By}$ }

I_1, I_2, I, I_0 ——圖54所示的冲量;

$x_B, x_{A1}, x_{A2}, x_{B1}, x_{B2}$ ——圖54所示圖標。

上述前两个方程式給出

$$(I_A + I_B)(\omega' - \omega) = (I_2 - I_1)\xi + I_0 h - I_0 x_{B0}. \quad (25)$$

利用其余方程式可得:

$$\begin{aligned} (I_A + I_B)(\omega' - \omega) = & -M_A \xi (V'_{Ay} - V_{Ay}) - \\ & -M_A h (V'_{Ax} - V_{Ax}) - M_B x_B (V'_{By} - V_{By}) - \\ & -M_A x_B (V'_{Ay} - V_{Ay}). \end{aligned} \quad (26)$$

式中 h 和 ξ ——物体 A 的質心相对于物体 B 的質心的座标。

对于所研究的原理圖来講

$$\frac{V_{Ay}}{x_A} = \frac{V_{By}}{x_B} = \omega, \quad \frac{V'_{Ay}}{x_A} = \frac{V'_{By}}{x_B} = \omega'.$$

由这些等式可得

$$V'_{Ay} - V_{Ay} = (\omega' - \omega)x_A;$$

$$V'_{By} - V_{By} = (\omega' - \omega)x_B.$$

因而,

$$(I_A + I_B)(\omega' - \omega) = -M_A \xi x_A (\omega' - \omega) - M_A h (V'_{Ax} - V_{Ax}) \\ - M_B x_B^2 (\omega' - \omega) - M_A x_A x_B (\omega' - \omega)$$

或

$$(I_A + I_B)(\omega' - \omega) = -M_A x_A^2 (\omega' - \omega) - M_B x_B^2 (\omega' - \omega) \\ - M_A h (V'_{Ax} - V_{Ax}) \quad (27)$$

由此,

$$(I_A + I_B + M_A x_A^2 + M_B x_B^2)(\omega' - \omega) = -M_A h (V'_{Ax} - V_{Ax}). \quad (28)$$

对于碰撞点的恢复系数, 可以写出如下公式:

$$\frac{V_{Ax} - V'_{Bx} - \omega' h}{V_{Ax} - V_{Bx} - \omega h} = -b,$$

由此,

$$-(V'_{Ax} - V_{Ax}) + (V'_{Bx} - V_{Bx}) + (\omega' - \omega) h = (1 + b)W,$$

式中

$$W = V_{Ax} - V_{Bx} - \omega h,$$

但

$$(V'_{Bx} - V_{Bx}) M_B = -M_A (V'_{Ax} - V_{Ax}).$$

就是说

$$-(V'_{Ax} - V_{Ax}) \left(1 + \frac{M_A}{M_B}\right) + (\omega' - \omega) h = W(1 + b).$$

利用后一方程式, 可得:

$$\left(I_A + I_B + M_A x_A^2 + M_B x_B^2 + \frac{M_A M_B}{M_A + M_B} h^2\right)(\omega' - \omega) \\ = \frac{W(1 + b) M_A h}{1 + \frac{M_A}{M_B}}. \quad (29)$$

由此求出

$$\omega' = \omega + \frac{(1 + b)W \frac{1}{h}}{1 + \frac{M_A}{M_B}} \left(\frac{M_A h^2}{I}\right), \quad (30)$$

式中

$$I = I_A + I_B + M_A x_A^2 + M_B x_B^2 + \frac{M_A M_B}{M_A + M_B} h^2.$$

前已确定

$$\begin{aligned} M_A(V'_{Ax} - V_{Ax}) &= -M_B(V'_{Bx} - V_{Bx}); \\ -(V'_{Ax} - V_{Ax}) + (V'_{Bx} - V_{Bx}) + (\omega' - \omega)h &= (1+b)W; \\ V'_{Ay} - V_{Ay} &= (\omega' - \omega)x_A; \\ V'_{By} - V_{By} &= (\omega' - \omega)x_{Bo} \end{aligned}$$

利用这些等式可得:

$$V'_{Ax} = V_{Ax} - \frac{(1+b)W}{1 + \frac{M_A}{M_B}} \left(1 - \frac{M_A h^2}{I}\right); \quad (31)$$

$$V'_{Bx} = V_{Bx} + \frac{(1+b)W}{1 + \frac{M_B}{M_A}} \left(1 - \frac{M_A h^2}{I}\right); \quad (32)$$

$$V'_{Ay} = V_{Ay} + \frac{(1+b)W \frac{x_A}{h}}{1 + \frac{M_A}{M_B}} \left(\frac{M_A h^2}{I}\right); \quad (33)$$

$$V'_{By} = V_{By} + \frac{(1+b)W \frac{x_B}{h}}{1 + \frac{M_B}{M_A}} \left(\frac{M_A h^2}{I}\right). \quad (34)$$

所求得的方程式能够确定撞击后所有未知速度。

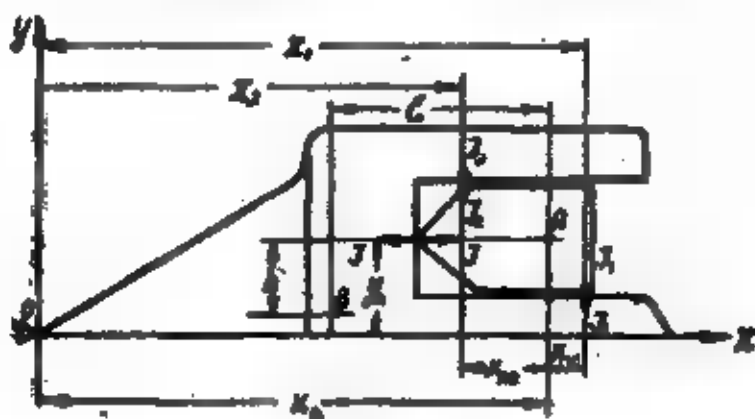


圖55 撞击圖。

如果当活动部分在后方位位置發生撞击时武器可以在平面上繞固定軸O轉动(圖55),那么,运动的动量方程式的形式如下:

$$\begin{aligned} I_{BO}(\omega' - \omega) &= I y_A - I_1 x_1 + I_2 x_2; \\ I_A(\omega' - \omega) &= I_1 x_{A1} + I_2 x_{A2}; \end{aligned}$$

$$M_A(V'_{Ay} - V_{Ay}) = I_1 - I_2;$$

$$M'_A(V'_{Ax} - V_{Ax}) = -I,$$

式中 I_{BO} ——物体 B 对转动轴 (O 点) 的转动惯量;

I_A ——物体 A 对其质心的转动惯量;

M_A ; M_B ——物体 A 和 B 的质量;

V_{Ax} ; V'_{Ax} ; V_{Ay} ; V'_{Ay} ——物体 A 的质心速度在座标轴上的投影;

y_A ; x_1 ; x_2 ; x_{A1} ; x_{A2} ——图 55 所示的坐标;

I ; I_1 ; I_2 ——图 55 所示的冲量。

利用上述方程式, 可得

$$(I_{BO} + I_A)(\omega' - \omega) = -M_A y_A (V'_{Ax} - V_{Ax}) - \\ - M_A x_A (V'_{Ay} - V_{Ay}).$$

对于所研究的原理图来讲

$$V'_{Ay} = \omega' x_A, \quad V_{Ay} = \omega x_A$$

由此

$$V'_{Ay} - V_{Ay} = (\omega' - \omega) x_{AO}$$

因而,

$$(I_{BO} + I_A)(\omega' - \omega) = -M_A y_A (V'_{Ax} - V_{Ax}) - \\ - M_A x_A^2 (\omega' - \omega)$$

或

$$(I_{BO} + I_A + M_A x_A^2)(\omega' - \omega) = -M_A y_A (V'_{Ax} - V_{Ax}).$$

引用符号

$$I_{BO} + I_A + M_A x_A^2 = I_0$$

得

$$I_0(\omega' - \omega) = -M_A y_A (V'_{Ax} - V_{Ax}).$$

求撞击时速度恢复系数的公式可写成如下的形式

$$\frac{V'_{Ax} - \omega' y_A}{V_{Ax} - \omega y_A} = -b,$$

由此

$$-(V'_{Ax} - V_{Ax}) + (\omega' - \omega) y_A = (1 + b) W,$$

式中

$$W = V_{Ax} - \omega y_{AO}$$

利用后两个方程式可得

$$\omega' - \omega = \frac{(1 + \delta)W \frac{1}{y_A}}{1 + \frac{I_0}{M_A y_A^2}},$$

$$V'_{Ax} - V_{Ax} = \frac{(1 + \delta)W}{1 + \frac{M_A y_A^2}{I_0}},$$

式中 I_0 ——整个武器对转动轴的转动惯量。

推导上述的公式时曾假设，撞击体的质心和撞击点同在一个垂直面上而物体 A 对物体 B 的运动只在水平方向上进行。

这样假设只是为了书写符号的方便。所有上面所求得的公式在撞击体质心及其撞击点在任何平面上时，也可以应用。物体 A 和 B 在此平面上相对运动方向也可以是任意的。

图 56 上所示的是比较复杂的原理图。在此图中两个撞击体的质心与撞击点（点 a 或点 b）不是在同一平面上。

利用图中所示的符号并假设撞击物体在空间是自由的，而物体 A 和 B 只可以在水平面上做相对位移，则可用下列方程式说明撞击时撞击体质心速度的变化：

$$I_{Ax}(\omega' - \omega) = I_2 y_{A2} - I_1 x_{A1} - I_3 x_{A3}; \quad (35)$$

$$I_{Bz}(\omega' - \omega) = I_1 x_{B1} + I_2 y_{B2} - I_3 x_{B3}; \quad (36)$$

$$I_{Ay}(\Omega' - \Omega) = I_1 x_{A1} - I_4 x_{A4} - I_5 x_{A5}; \quad (37)$$

$$I_{By}(\Omega' - \Omega) = I_4 x_{B4} - I_5 x_{B5} + I_2 x_{B2}; \quad (38)$$

$$I_{Ax}(\psi' - \psi) = -I_3 z_{A3} + I_1 z_{A1} - I_4 y_{A4} + I_5 y_{A5}; \quad (39)$$

$$I_{Bx}(\psi' - \psi) = -I_3 z_{B3} + I_1 z_{B1} - I_4 y_{B4} + I_5 y_{B5}; \quad (40)$$

$$I_2 = M_A(V_{Ax} - V'_{Ax}) = -M_B(V_{Bx} - V'_{Bx}); \quad (41)$$

$$I_3 - I_1 = -M_A(V_{Ay} - V'_{Ay}) = M_B(V_{By} - V'_{By}); \quad (42)$$

$$I_5 - I_4 = -M_A(V_{Az} - V'_{Az}) = M_B(V_{Bz} - V'_{Bz}); \quad (43)$$

式中

$\left. \begin{matrix} I_{Ax}; I_{Bz}; I_{Ay} \\ I_{By}; I_{Ax}; I_{Bx} \end{matrix} \right\}$ ——物体 A 和 B 对于作为惯性主轴的 x, y, z 轴的主要转动惯量；

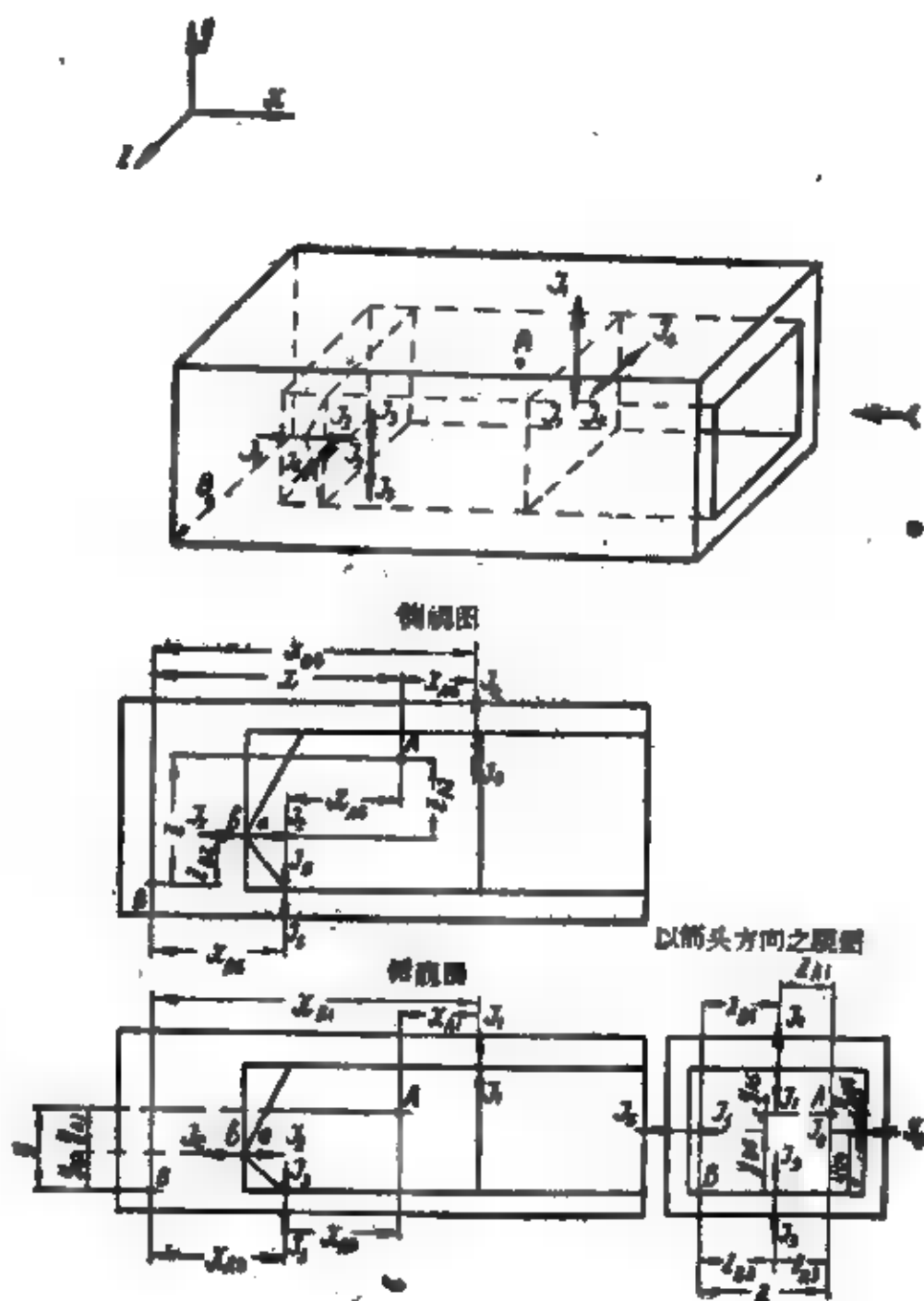


圖56 空間撞擊圖。

$I_1; I_2; I_3; I_4; I_5$ ——撞击时所产生的冲量;

$\left. \begin{array}{l} x_{A1}; x_{A3}; x_{A4}; x_{A5} \\ x_{B1}; x_{B3}; x_{B4}; x_{B5} \\ y_{A4}; y_{B4}; y_{A5}; y_{B5} \\ y_{A2}; y_{B2}; x_{A2}; x_{B2} \\ x_{A1}; x_{B1}; x_{A3}; x_{B3} \end{array} \right\}$ ——撞击时产生的冲量的作用点坐标;

$\omega; \omega'; \Omega; \Omega'; \psi; \psi'$ ——撞击前和撞击后物体 A 和 B 对 x, y, z 轴的角速度;

$\left. \begin{array}{l} V_{Ax}; V'_{Ax}; V_{Bx}; V'_{Bx} \\ V_{Ay}; V'_{Ay}; V_{By}; V'_{By} \\ V_{Az}; V'_{Az}; V_{Bz}; V'_{Bz} \end{array} \right\}$ ——撞击前和撞击后物体 A 和 B 质心速度在 x, y, z 坐标轴上的投影。

利用方程式 (35~40), 可得

$$I_x(\omega' - \omega) = I_3(y_{A2} + y_{B2}) + I_1(x_{B1} - x_{A1}) - I_5(x_{A3} + x_{B3});$$

$$I_y(\Omega' - \Omega) = I_2(x_{A2} + x_{B2}) + I_4(x_{B4} - x_{A4}) - I_5(x_{A5} + x_{B5});$$

$$I_z(\psi' - \psi) = -I_5(x_{A3} + x_{B3}) + I_1(x_{A1} + x_{B1}) - I_4(y_{B4} + y_{A4}) + I_3(y_{B5} + y_{A5})$$

$$I_x(\omega' - \omega) = I_3y + (I_1 - I_5)x; \quad (44)$$

$$I_y(\Omega' - \Omega) = I_2x + (I_4 - I_5)y; \quad (45)$$

$$I_z(\psi' - \psi) = (I_1 - I_5)x - (I_4 - I_5)y, \quad (46)$$

式中 $x; y; z$ ——物体 A 质心(点 A)相对于物体 B 质心(点 B)的坐标。

$$I_x = I_{Ax} + I_{Bx}; \quad I_y = I_{Ay} + I_{By}; \quad I_z = I_{Az} + I_{Bz}$$

将方程式 (41), (42), (43) 中的冲量值代入后一方程式, 则得

$$I_x(\omega' - \omega) = M_A[(V_{Ax} - V'_{Ax})y + (V_{Ay} - V'_{Ay})x]; \quad (47)$$

$$I_y(\Omega' - \Omega) = M_A[(V_{Ax} - V'_{Ax})z + (V_{Az} - V'_{Az})x]; \quad (48)$$

$$I_z(\psi' - \psi) = M_A[-(V_{Ax} - V'_{Ax})y + (V_{Ay} - V'_{Ay})z]. \quad (49)$$

现在得出了六个方程式 (41), (42), (43), (44), (45),

(46)。在这些方程式中含有 9 个未知速度:

$$V'_{Ax}; V'_{Ay}; V'_{Az}; V'_{Bx}; V'_{By}; V'_{Bz}; \omega'; \Omega'; \psi'.$$

为了求出这些速度还需要有三个方程式。

求恢复系数的方程式可以写成如下形式:

$$\frac{V'_{ax} - V'_{bx}}{V_{ax} - V_{bx}} = -b,$$

式中 $V_{ax}; V_{bx}; V'_{ax}; V'_{bx}$ —— 两个物体碰撞点的速度在 x 轴上的投影。

为了用撞击体质心速度投影来表示恢复系数, 可利用下列等式:

$$V_{Ax} - V_{Bx} - (V_{ax} - V_{bx}) = \omega y + \Omega x,$$

$$V'_{Ax} - V'_{Bx} - (V'_{ax} - V'_{bx}) = \omega' y + \Omega' x.$$

利用这些等式可得

$$\frac{V'_{Ax} - V'_{Bx} - \omega' y - \Omega' x}{V_{Ax} - V_{Bx} - \omega y - \Omega x} = -b,$$

或

$$\frac{V_{Ax} - V'_{Ax} - (V_{Bx} - V'_{Bx}) - (\omega - \omega') y - (\Omega - \Omega') x}{V_{Ax} - V_{Bx} - \omega y - \Omega x} = 1 + b.$$

但

$$-(V_{Bx} - V'_{Bx}) = (V_{Ax} - V'_{Ax}) \frac{M_A}{M_B},$$

由此

$$\frac{(V_{Ax} - V'_{Ax}) \left(1 + \frac{M_A}{M_B}\right) - (\omega - \omega') y - (\Omega - \Omega') x}{V_{Ax} - V_{Bx} - \omega y - \Omega x} = 1 + b. \quad (50)$$

为了求撞击体质心速度在 y 和 z 轴上的投影, 可以写出下列方程式:

$$V_{Ay} - V_{By} = \omega x + \psi z; \quad V_{Az} - V_{Bz} = \Omega x + \psi y;$$

$$V'_{Ay} - V'_{By} = \omega' x + \psi' z; \quad V'_{Az} - V'_{Bz} = \Omega' x + \psi' y,$$

由此

$$(V_{Ay} - V'_{Ay}) - (V_{By} - V'_{By}) = (\omega - \omega') x + (\psi - \psi') z;$$

$$(V_{Az} - V'_{Az}) - (V_{Bz} - V'_{Bz}) = (\Omega - \Omega') x + (\psi - \psi') y.$$

利用等式 (42) 和 (43) 可得

$$(V_{Ay} - V'_{Ay}) \left(1 + \frac{M_A}{M_B} \right) = (\omega - \omega')x + (\psi - \psi')z, \quad (51)$$

$$(V_{Az} - V'_{Az}) \left(1 + \frac{M_A}{M_B} \right) = (\Omega - \Omega')x + (\psi - \psi')y. \quad (52)$$

現在已有确定撞击后撞击体速度所必需的 9 个方程式 (41), (42), (43), (47), (48), (49), (50), (51), (52)。

利用方程式 (47), (48), (49), (51), (52), 可得:

$$k_z(\omega' - \omega) = M_A(V_{Az} - V'_{Az})y - \frac{M_A M_B}{M_A + M_B} xz(\psi' - \psi);$$

$$k_y(\Omega' - \Omega) = M_A(V_{Az} - V'_{Az})x - \frac{M_A M_B}{M_A + M_B} xy(\psi' - \psi);$$

$$k_x(\psi' - \psi) = \frac{M_A M_B}{M_A + M_B} xyz M_A(V_{Az} - V'_{Az}) \left(\frac{1}{k_y} - \frac{1}{k_z} \right),$$

式中

$$k_x = I_x + \frac{M_A M_B}{M_A + M_B} x^2;$$

$$k_y = I_y + \frac{M_A M_B}{M_A + M_B} y^2;$$

$$k_z = I_z - (y^2 - x^2) \frac{M_A M_B}{M_A + M_B} + \left(\frac{M_A M_B}{M_A + M_B} \right)^2 x^2 \left(\frac{y^2}{k_z} - \frac{y^2}{k_y} \right).$$

上面所求得的方程式能够确定撞击后的所有未知速度, 而不需要补充的假设。但是, 这些方程式的分析表明, 研究自动武器时, 如果采用某些假设就可以大大地简化这些方程式。

由后一方程式得出结论, 当 $I_z = I_y$ 时, 如果 x, y, z 坐标中有一个等于零或 $k_y = k_z$ 的话, 则 $\psi' - \psi = 0$ 。在自动武器中几乎总是可以取 $I_z = I_y$, 并不会出现很大误差, 因而, $\psi' - \psi = 0$ 。

同时上述方程式的解简化了, 因为它们可以化成下列形式

$$k_z(\omega' - \omega) = M_A(V_{Az} - V'_{Az})y,$$

$$k_y(\Omega' - \Omega) = M_A(V_{Az} - V'_{Az})x.$$

利用这些方程式同时利用方程式 (50), 便能够解出下列未知速度:

$$\omega' = \omega + W_0(1+b) \frac{a_y}{1+a_y+a_z} \cdot \frac{1}{y}; \quad (53)$$

$$\Omega' = \Omega + W_0(1+b) \frac{a_z}{1+a_y+a_z} \cdot \frac{1}{x}; \quad (54)$$

$$V'_{Ax} = V_{Ax} - \frac{W_0(1+b)}{1+\frac{M_A}{M_B}} \cdot \frac{1}{1+a_y+a_z}, \quad (55)$$

式中

$$W_0 = V_{Ax} - V_{Bx} - \omega y - \Omega z; \quad (56)$$

$$a_y = \frac{y^2}{I_z \left(\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B} \right) + x^2}; \quad (57)$$

$$a_z = \frac{z^2}{I_y \left(\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B} \right) + x^2}. \quad (58)$$

为了求出其余五个未知的撞击后撞击体质心速度的投影，需要利用方程式 (41)，(42)，(43)，(47)，(48)，(49) (当 $\psi' - \psi = 0$ 时)。

利用这些方程式，可得：

$$V'_{Bx} = V_{Bx} + \frac{W_0(1+b)}{1+\frac{M_B}{M_A}} \cdot \frac{1}{1+a_y+a_z}; \quad (59)$$

$$V'_{Ay} = V_{Ay} + \frac{W_0(1+b)}{1+\frac{M_A}{M_B}} \cdot \frac{a_y}{1+a_y+a_z} \cdot \frac{x}{y}; \quad (60)$$

$$V'_{By} = V_{By} - \frac{W_0(1+b)}{1+\frac{M_B}{M_A}} \cdot \frac{a_y}{1+a_y+a_z} \cdot \frac{x}{y}; \quad (61)$$

$$V'_{Ax} = V_{Ax} + \frac{W_0(1+b)}{1+\frac{M_A}{M_B}} \cdot \frac{a_z}{1+a_y+a_z} \cdot \frac{x}{z}; \quad (62)$$

$$V'_{Bx} = V_{Bx} - \frac{W_0(1+b)}{1+\frac{M_B}{M_A}} \cdot \frac{a_z}{1+a_y+a_z} \cdot \frac{x}{z}. \quad (63)$$

当 $x = 0$ 时， $a_z = 0$ 并且这些方程式可以化成讨论第一个原理图时所得的形式。

上面所获得的方程式表明，为了保证在射击过程中自动机工作时手提式自动武器具有良好的稳定性，必须使自动机活动部分

撞击时其質心和武器所有其余各部分的質心位于同一水平綫上(槍膛軸綫延長綫)。自动机各部分的撞击点的位置可以是任意的。

有鑒于此,譬如,使导气撞接近于槍膛軸綫,可以肯定这对于射击时自动武器稳定性不可能有好的影响。同时使自动机活动部分的重心接近槍膛軸綫具有决定性的意义,并应该对稳定性有很好的影响。

§3 自动机各部分的平稳运动对射击时 自动武器的稳定性影响

为了解决在研究射击时手提式自动武器的稳定性时所遇到的问题,只研究一下平面运动的情况就可以了。圖 57 所示的是自动机真实工作圖,而圖 58 是計算圖。

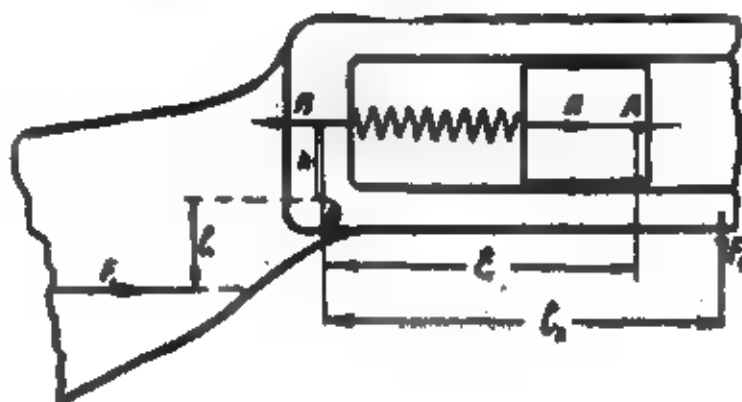


圖57 整个武器及自动机各部分平稳运动圖。

圖 57 和 58 中列出下述各值:

l, ξ ——物体 A 質心(点 A)对物体 B 質心(点 B)的距離;

F_1, F_2 ——作用于武器(物体 B)上的外力;

l_1, l_2 ——外力作用点的座标;

T ——由自动机工作所引起的內力;

φ ——武器的射角;

r ——点 A 与点 B 的距离;

V_{Ax} ; V_{Ay} ——物体 A 的質心速度在兩座標軸上的投影;

V_{Bx} ; V_{By} ——物体 B 的質心速度在兩座標軸上的投影。

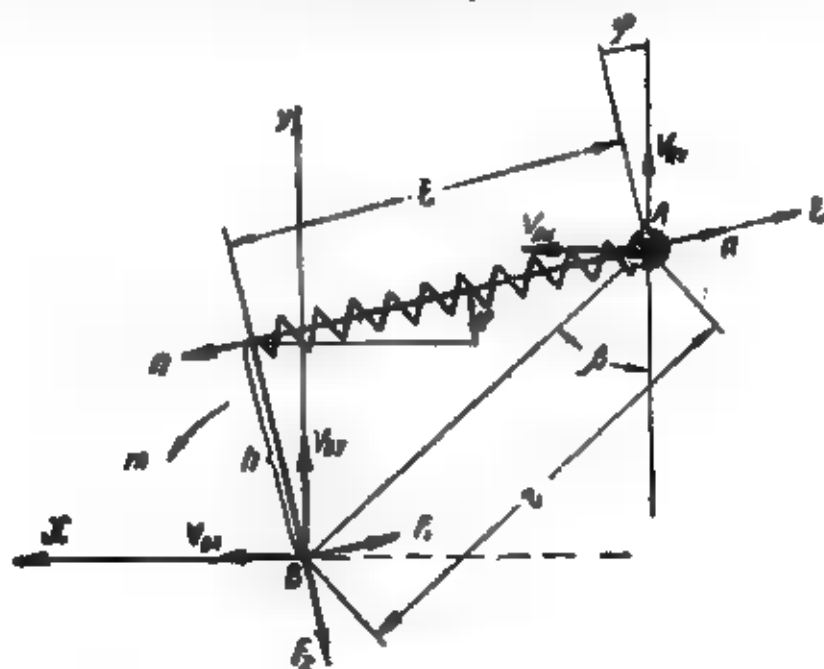


圖58 整個武器自動機各部分平面運動的計算圖。

對於所研究的圖來講，可以確定下列運動關係式：

$$V_{Ax} = V_{Bx} + r \omega \cos \beta - \dot{\xi} \cos \varphi, \quad (64)$$

$$V_{Ay} = V_{By} + r \omega \sin \beta + \dot{\xi} \sin \varphi, \quad (65)$$

但，

$$r \sin \beta = \xi \cos \varphi - h \sin \varphi, \quad (66)$$

$$r \cos \beta = \xi \sin \varphi + h \cos \varphi. \quad (67)$$

因而，

$$V_{Ax} = V_{Bx} + \omega (\xi \sin \varphi + h \cos \varphi) - \dot{\xi} \cos \varphi, \quad (68)$$

$$V_{Ay} = V_{By} + \omega (\xi \cos \varphi - h \sin \varphi) + \dot{\xi} \sin \varphi. \quad (69)$$

由此，可得

$$\begin{aligned} \dot{V}_{Ax} = \dot{V}_{Bx} + & (\dot{\xi} \sin \varphi + \xi \omega \cos \varphi - h \omega \sin \varphi) - \\ & - \ddot{\xi} \cos \varphi + \omega \dot{\xi} \sin \varphi + (\xi \sin \varphi + h \cos \varphi) \dot{\omega}, \end{aligned} \quad (70)$$

$$\begin{aligned} \dot{V}_{Ay} = \dot{V}_{By} + & \omega (\dot{\xi} \cos \varphi - \xi \omega \sin \varphi - h \omega \cos \varphi) + \\ & + \dot{\xi} \sin \varphi + \omega \dot{\xi} \cos \varphi + (\xi \cos \varphi - h \sin \varphi) \dot{\omega}. \end{aligned} \quad (71)$$

为了求出所研究武器的运动方程式，我們利用拉格兰日二次方程：

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial T}{\partial q} = Q,$$

式中

T ——武器的动能；

q ——广义座标；

Q ——广义力；

t ——时间。

所研究的武器的动能

$$T = \frac{1}{2} [(I_A + I_B) \omega^2 + M_A (V_{Ax}^2 + V_{Ay}^2) + M_B (V_{Bx}^2 + V_{By}^2)], \quad (72)$$

式中

M_A, M_B ——物体 A 和物体 B 的质量；

I_A, I_B ——物体 A 和 B 对其质心的转动惯量。

利用运动关系式 (68), (69) 可求出

$$\begin{aligned} V_{Ax}^2 + V_{Ay}^2 = & V_{Bx}^2 + V_{By}^2 + 2V_{Bx} \cos \varphi (\dot{h}\omega - \dot{\xi}) - \\ & - 2V_{By} (\dot{h}\omega - \dot{\xi}) \sin \varphi + \dot{\xi}^2 + 2V_{Bx} \omega \dot{\xi} \sin \varphi + \\ & + 2V_{By} \omega \dot{\xi} \cos \varphi - 2\dot{\xi} \omega \dot{h} + \omega^2 (\xi^2 + h^2). \end{aligned}$$

将 $V_{Ax}^2 + V_{Ay}^2$ 值代入公式 (72) 之后，则得

$$\begin{aligned} T = \frac{1}{2} \{ & I \omega^2 + (V_{Bx}^2 + V_{By}^2) (M_A + M_B) - 2M_A \dot{\xi} \omega \dot{h} + \\ & + 2M_A V_{Bx} [(\dot{h}\omega - \dot{\xi}) \cos \varphi + \omega \dot{\xi} \sin \varphi] + M_A \dot{\xi}^2 - \\ & - 2M_A V_{By} [(\dot{h}\omega - \dot{\xi}) \sin \varphi - \omega \dot{\xi} \cos \varphi] \}, \quad (73) \end{aligned}$$

式中

ω ——物体 B 转动的角速度；

I ——物体 A 和 B 对物体 B 质心的转动惯量，

$$I = I_A + I_B + M_A (h^2 + \xi^2).$$

用于所研究的武器时，拉格兰日方程式具有下列形式：

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_B} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi_B} = Q_{\varphi_B};$$

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{y}_B}\right) - \frac{\partial T}{\partial y_B} &= Q_{yB}; \\ \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\omega}}\right) - \frac{\partial T}{\partial \omega} &= m_B; \\ \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\xi}}\right) - \frac{\partial T}{\partial \xi} &= Q_{\xi},\end{aligned}$$

式中

x_B, y_B ——物体 B 質心的座标;

Q_{xB}, Q_{yB}, Q_{ξ} ——广义力;

m_B ——对于物体 B 質心的广义力矩。

现在确定拉格朗日方程式中所含的表达式

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{y}_{Bx}} = V_{Bx}(M_A + M_B) + M_A[(h\dot{\omega} - \dot{\xi})\cos\varphi + \omega\xi\sin\varphi]; \quad (74)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{y}_{By}} = V_{By}(M_A + M_B) - M_A[(h\dot{\omega} - \dot{\xi})\sin\varphi - \omega\xi\cos\varphi]; \quad (75)$$

$$\begin{aligned}-\frac{\partial T}{\partial \dot{\omega}} &= I_{\omega} - M_A\dot{\xi}h + M_A V_{Bx}(h\cos\varphi + \xi\sin\varphi) \\ &\quad - M_B V_{By}(h\sin\varphi - \xi\cos\varphi); \quad (76)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}-\frac{\partial T}{\partial \dot{\xi}} &= -M_A\omega h - M_A V_{Bx}\cos\varphi \\ &\quad + M_A V_{By}\sin\varphi + M_A\dot{\xi}; \quad (77)\end{aligned}$$

$$-\frac{\partial T}{\partial \xi} = M_A\omega^2 \xi + M_A V_{Bx}\omega\sin\varphi + M_A V_{By}\omega\cos\varphi; \quad (78)$$

$$\begin{aligned}-\frac{\partial T}{\partial \varphi} &= M_A V_{Bx}[(\dot{\xi} - h\dot{\omega})\sin\varphi + \omega\xi\cos\varphi] \\ &\quad + M_A V_{By}[(\dot{\xi} - h\dot{\omega})\cos\varphi - \omega\xi\sin\varphi]. \quad (79)\end{aligned}$$

为了求出广义力 Q_{xB}, Q_{yB}, Q_{ξ} 和广义力矩 m_B , 我們利用可能位移原理。

从理論力学中知道, 广义力可以作为广义位移的系数用任意可能位移 $(\delta x_B, \delta y_B, \delta \xi, \varphi)$ 上的作用力之单元功 δW 来表示。

在所研究的情况中

$$\begin{aligned}\delta W &= (-F_1\sin\varphi - F_2\cos\varphi)\delta x_B + (F_1\sin\varphi - F_2\cos\varphi)\delta y_B \\ &\quad - H\delta\xi + (F_1l_1 - F_2l_2)\varphi.\end{aligned}$$

因而,

$$Q_x = -F_1 \cos \varphi - F_2 \sin \varphi; \quad (80)$$

$$Q_y = F_1 \sin \varphi - F_2 \cos \varphi; \quad (81)$$

$$Q_\xi = -\Pi; \quad (82)$$

$$m_B = F_1 l_1 - F_2 l_2. \quad (83)$$

将所有这些表达式代入拉格朗日方程式中, 则得下列方程组:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{Bx}(M_A + M_B) + M_A [(\dot{h}\omega - \ddot{\xi}) \cos \varphi - \omega(\dot{h}\omega - \dot{\xi}) \sin \varphi \\ + \frac{d(\omega\xi)}{dt} \sin \varphi + \omega^2 \xi \cos \varphi] = -F_1 \cos \varphi - F_2 \sin \varphi; \end{aligned} \quad (84)$$

$$\begin{aligned} \dot{V}_{By}(M_A + M_B) + M_A [(\ddot{\xi} - \dot{h}\omega) \sin \varphi - \omega(\dot{h}\omega - \dot{\xi}) \cos \varphi \\ + \frac{d(\omega\xi)}{dt} \cos \varphi - \omega^2 \xi \sin \varphi] = -F_2 \cos \varphi + F_1 \sin \varphi; \end{aligned} \quad (85)$$

$$\begin{aligned} \dot{\omega} h M_A + \dot{V}_{Bx} M_A \cos \varphi - \dot{V}_{By} M_A \sin \varphi + M_A \omega^2 \xi \\ - M_A \ddot{\xi} = -\Pi; \end{aligned} \quad (86)$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}(I\omega) - M_A h \ddot{\xi} + M_A [\dot{V}_{Bx}(h \cos \varphi - \xi \sin \varphi) \\ - \dot{V}_{By}(h \sin \varphi + \xi \cos \varphi)] = m_B. \end{aligned} \quad (87)$$

研究自动武器稳定性时, 通常讨论其水平位置。此时, 因射击时武器转动而产生的角度很小, 故可以忽略不计, 而认为 $\varphi = 0$ 。

此时, 方程式 (84), (85), (86), (87) 的形式如下:

$$\dot{V}_{Bx}(M_A + M_B) + (\dot{h}\omega - \ddot{\xi} + \xi\omega^2) M_A = -F_1; \quad (88)$$

$$\dot{V}_{By}(M_A + M_B) + (\omega\xi - \dot{h}\omega + 2\xi\omega) M_A = -F_2; \quad (89)$$

$$(\dot{\omega} h + \dot{V}_{Bx} + \omega^2 \xi - \ddot{\xi}) M_A = -\Pi; \quad (90)$$

$$\frac{d}{dt}(I\omega) + (\dot{V}_{Bx} h + \dot{V}_{By} \xi - \ddot{\xi} h) M_A = m_B. \quad (91)$$

将由公式 (88) 和 (89) 所求得的 \dot{V}_{Bx} 和 \dot{V}_{By} 值代入后一公式 (90) 中, 则得

$$\frac{d}{dt}(I_0 \omega) = \Pi h + m_B, \quad (91')$$

式中

$I_0 = I_A + I_B + \frac{M_A M_B}{M_A + M_B} (\xi^2 + h^2)$ —— 两个物体 A 和 B 对其公共质心的转动惯量;

$\pi = \frac{M_A M_B}{M_A + M_B} \ddot{\xi}$ ——由于自动机工作而引起的内力;

$m_0 = F_2 \left(\xi \frac{M_A}{M_A + M_B} - l_2 \right) + F_1 \left(h \frac{M_A}{M_A + M_B} + l_1 \right)$ ——作用于物体 B 上的諸外力力矩。

研究手提式自动武器的稳定性时, ξ 是自动机活动部分相对武器机匣的位移。随时间而变化的 ξ , $\dot{\xi}$ 和 $\ddot{\xi}$ 值可以用实验或計算的方法确定。因而, 为了解方程式 (91') 可以先确定下述关系式

$$I_0 = \varphi(t); \quad \pi = F(t) \text{ 和 } m_0 = \phi(t)。$$

方程式 (91') 表明, 武器轉动的角速度 ω 不仅与取决于因自动机工作而引起的内力力矩, 而且还与外力力矩有关。

在這些情况下, 把以上所得出的方程式加以变换并化成更便于适用的形式是大有裨益的。

将方程式(90)的 $(\dot{\omega}h + \dot{V}_{Bx} + \omega^2 \xi - \ddot{\xi})M_A = -\Pi$ 值代入之后, 可以将此諸方程式中的第一个加以变换。此时得出下列的方程組:

$$\dot{V}_{Bx} M_B = \Pi - F_1; \quad (92)$$

$$\dot{V}_{By} (M_A + M_B) + (\dot{\omega} \xi - h \omega^2 + 2 \dot{\xi} \omega) M_A = -F_2; \quad (93)$$

$$M_A (\dot{\omega} h + \dot{V}_{Bx} + \omega^2 \xi - \ddot{\xi}) = -\Pi; \quad (94)$$

$$\frac{d}{dt} (I_0 \omega) = \pi h + m_0. \quad (95)$$

研究自动武器稳定性时, 对于方程式中的各值采用某些假設, 可将这些方程式加以簡化。

例如, $\omega \xi - h \omega^2$ 之差与 $2 \dot{\xi} \omega$ 相比較时常常可以忽略不計。同样 $\dot{\omega} h + \omega^2 \xi$ 之和与 $\dot{V}_{Bx} - \ddot{\xi}$ 比較时亦可加以忽略。

采用这些假設时, 方程式 (92), (93), (94), (95) 可以写成如下形式:

$$\dot{V}_{Bx} M_B = \Pi - F_1; \quad (96)$$

$$\dot{V}_{By} (M_A + M_B) + 2 \dot{\xi} \omega M_A = -F_2; \quad (97)$$

$$(\dot{V}_{Bx} - \ddot{\xi}) M_A = -\Pi; \quad (98)$$

$$\frac{d}{dt}(I_0\omega) = \pi h + m_{00} \quad (99)$$

仅用方程式 (96) 和 (98) 便可以确定 \dot{V}_{Bx} 和 $\ddot{\xi}$ ，而只应用方程式 (97) 和 (99) 便可以求出 ω 和 \dot{V}_{By0} 。

当力 H 给定时 (这种情况在计算重新设计的武器时可能遇到) 应用上述的方程式形式是方便的。

如果必须从理论上研究现有武器的稳定性，那么更方便的是根据专门的试验先求出 $\ddot{\xi}$ 值。此时，将方程式 (96) 化成下一形式较方便：

$$\dot{V}_{Bx}(M_A + M_B) - \ddot{\xi}M_A = -F_I \quad (100)$$

所作的研究能够使我们得出如下的结论：射击时手提式自动武器的稳定性不好主要是由于自动机工作时活动部分发生撞击而引起的。

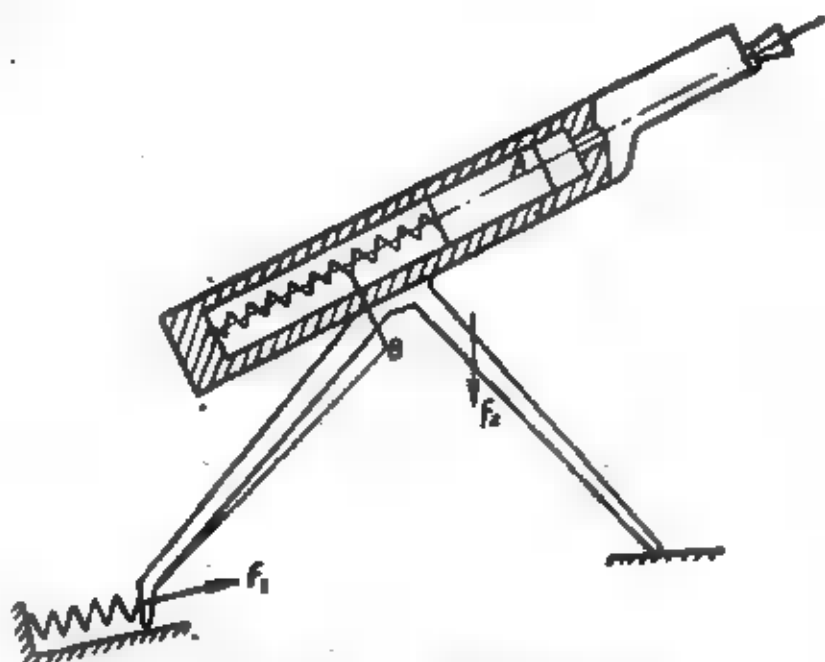


图59 整个武器及重机枪各部分平衡运动图。

提高武器的稳定性，从而也就是改善其射击精度可以通过合理位置活动部分质心和外力作用力矩的位置的方法来实现。

方程式 (88)，(89)，(90)，(91) 不但可以用来研究手提武器的射击稳定性，也可以用来研究重机枪的射击稳定性。

取对时间的导数之后，则得

$$\dot{V}_{Bx} = \ddot{x} \cos \gamma + \omega^2 l \cos \beta + \dot{\omega} l \sin \beta + \dot{\omega} x \sin \gamma + \omega^2 x \cos \gamma, \quad (103)$$

$$\dot{V}_{By} = \ddot{x} \sin \gamma + 2\dot{x}\omega \cos \gamma - \omega^2 l \sin \beta + \dot{\omega} l \cos \beta + \dot{\omega} x \cos \gamma - \omega^2 x \sin \gamma, \quad (104)$$

因为 $\gamma = \beta = \varphi = \omega$ 。

以后为了简化公式起见，在最后的公式中设 $\gamma = 0$ ，这对于在实际当中所遇到的许多情况都是允许的。

利用所述的几何关系式和运动关系式（当 $\gamma = 0$ 时），则得：

$$\dot{V}_{Bx} = \ddot{x} + \omega^2 L + \omega N, \quad \dot{V}_{By} = 2\dot{x}\omega - \omega^2 N + \dot{\omega} L_0$$

适用于所讨论的图，方程式（74~77）将有如下的形式：

$$\dot{V}_{Bx} M + [(\dot{h}\omega - \ddot{\xi}) \cos \varphi - \omega(\dot{h}\omega - \ddot{\xi}) \sin \varphi + (\dot{\omega}\xi + \omega\dot{\xi}) \sin \varphi + \omega^2 \xi \cos \varphi] M_A = -F_1;$$

$$\dot{V}_{By} M + [(\ddot{\xi} - \dot{h}\omega) \sin \varphi + \omega(\ddot{\xi} - \dot{h}\omega) \cos \varphi + (\dot{\omega}\xi + \omega\dot{\xi}) \cos \varphi - \omega^2 \xi \cos \varphi] M_A = -F_2 + R;$$

$$\frac{d}{dt}(I\omega) = \ddot{\xi} h M_A + [\dot{V}_{Bx}(h \cos \varphi + \xi \sin \varphi) - \dot{V}_{By}(h \sin \varphi - \xi \cos \varphi)] M_A = F_1 l_1 - F_2 l_2 - RL;$$

$$M_A(\dot{\omega} h - \ddot{\xi} + \omega^2 \xi + \dot{V}_{Bx} \cos \varphi - \dot{V}_{By} \sin \varphi) = -\Pi,$$

式中

$M = M_A + M_B$ ——所讨论的两个物体的质量；

F_1, F_2, Π, R ——给定的力和约束反作用力。

利用上面所建立的几何关系式和运动关系式，上述方程式可以化成如下的形式：

$$(\ddot{x} + \omega^2 L + \dot{\omega} N) M + [\dot{\omega}(h - N) - \ddot{\xi} \cos \varphi + \omega^2(h - L) + 2\dot{\xi}\omega \sin \varphi] M_A = -F_1; \quad (105)$$

$$(2\dot{x}\omega - \omega^2 N + \dot{\omega} L) M + [\dot{\omega}(h - L) + \ddot{\xi} \sin \varphi + \omega^2(N - h) + 2\dot{\xi}\omega \cos \varphi] M_A = -F_2 + R; \quad (106)$$

$$[\omega^2(L \cos \varphi + N \sin \varphi + \xi) + \dot{\omega}(N \cos \varphi + h - L \sin \varphi) + \ddot{x} \cos \varphi - 2\dot{x}\omega \sin \varphi - \ddot{\xi}]M_A = -H; \quad (107)$$

$$\frac{d}{dt}(I\omega) + [(H - N)(\ddot{x} + \omega^2 L + \dot{\omega}N) + (\lambda - L)(2\dot{x}\omega - \omega^2 N + \dot{\omega}L) - h\ddot{\xi}]M_A = F_1 l_1 - F_2 l_2 - LR_c \quad (108)$$

現在必須从后一方程式中消去 R 值。为此, 首先将方程式(105)乘以 N , 而方程式(106)乘以 L 并将两方程式的左边和右边相加。

进行这一运算则得:

$$[\ddot{x}N + \dot{\omega}(N^2 + L^2) + 2\dot{x}\omega L]M + [\dot{\omega}(HN + L\lambda - N^2 - L^2) + \omega^2(\lambda N - NL) + 2\dot{\xi}\omega(N \sin \varphi + L \cos \varphi) + \ddot{\xi}(L \sin \varphi - N \cos \varphi)]M_A = -F_1 N + RL - F_2 L。$$

我們將由此方程式得出的 R 式代入方程式(108)中。代入后则得:

$$\begin{aligned} & \frac{d}{dt}(L\omega) + [(H - N)(\ddot{x} + \omega^2 L + \dot{\omega}N) + (\lambda - L)(2\dot{x}\omega - \omega^2 N + \dot{\omega}L) - h\ddot{\xi}]M_A + [\dot{\omega}(HN + L\lambda - N^2 - L^2) + \omega^2(\lambda N - HL) \\ & + 2\dot{\xi}\omega(N \sin \varphi + L \cos \varphi) + \ddot{\xi}(L \sin \varphi - N \cos \varphi)]M_A \\ & + M[\ddot{x}N + \dot{\omega}(N^2 + L^2) + 2\dot{x}\omega L] = -F_2(l_2 + L)。 \end{aligned}$$

整理类似項并合并同类項之后, 則得:

$$\begin{aligned} & \frac{d}{dt}(L\omega) + \ddot{x}(M_A H + M_B N) - \ddot{\xi}M_A(h + N \cos \varphi - L \sin \varphi) \\ & + \dot{\omega}M_A(2\lambda L + 2HN - L^2 - N^2) + 2\dot{x}\omega(M_A \lambda + M_B L) \\ & + \omega M_B(L^2 + N^2) + 2\dot{\xi}\omega M_A(N \sin \varphi + L \cos \varphi) = m_0, \quad (109) \end{aligned}$$

式中

$m_0 = -F_2(l_2 + L)$ ——对于支点 O 的外力力矩。

因为 $I = I_A + I_B + M_A(\xi^2 + h^2)$, 則方程式(109)可以改写成:

$$\dot{\omega}(I_A + I_B) + \dot{\omega}(\xi^2 + h^2)M_A + 2\dot{\xi}\omega M_A + \ddot{x}(M_A H + M_B N)$$

$$\begin{aligned}
& -\ddot{\xi}(h + N \cos \varphi - L \sin \varphi)M_A + \dot{\omega}(2\lambda L + 2HN - L^2 \\
& - N^2)M_A + \dot{\omega}(L^2 + N^2)M_B + 2\dot{x}\omega(M_A\lambda + M_B L) \\
& + 2\dot{\xi}\omega(N \sin \varphi + L \cos \varphi)M_A = m_{00}
\end{aligned} \quad (110)$$

該方程式內所含的 $\xi^2 + h^2$ 值可表示如下:

$$\xi^2 + h^2 = (\lambda - L)^2 + (H - N)^2.$$

代入方程式 (110), 則得

$$\begin{aligned}
& \dot{\omega}[I_A + I_B + (\lambda^2 + H^2)M_A + (L^2 + N^2)M_B] \\
& + 2\dot{\xi}\omega(\xi + N \sin \varphi + L \cos \varphi)M_A + 2\dot{x}\omega(M_A\lambda + M_B L) \\
& + \ddot{x}(M_A H + M_B N) - \ddot{\xi}(h + N \cos \varphi - L \sin \varphi)M_A = m_{00}
\end{aligned} \quad (111)$$

为了簡化这一公式, 我們求其导数

$$\frac{d}{dt}[I_A + I_B + (\lambda^2 + H^2)M_A + (L^2 + N^2)M_B]. \quad (112)$$

先求出 $\lambda^2 + H^2$ 和 $L^2 + N^2$ 的导数

$$\frac{d}{dt}(\lambda^2 + H^2) = 2\lambda\dot{\lambda} + 2H\dot{H};$$

$$\frac{d}{dt}(L^2 + N^2) = 2L\dot{L} + 2N\dot{N},$$

但

$$\lambda = x \cos \gamma + l \cos \beta - h \sin \varphi + \xi \cos \varphi;$$

$$L = x \cos \gamma + l \cos \beta;$$

$$N = x \sin \gamma + l \sin \beta;$$

$$H = x \sin \gamma + l \sin \beta + h \cos \varphi + \xi \sin \varphi.$$

因而,

$$\begin{aligned}
\dot{\lambda} = \dot{x} \cos \gamma - x\omega \sin \gamma - l\omega \sin \beta - h\omega \cos \varphi + \dot{\xi} \cos \varphi \\
- \xi\omega \sin \varphi;
\end{aligned}$$

$$\dot{L} = \dot{x} \cos \gamma - x\omega \sin \gamma - l\omega \sin \beta;$$

$$\dot{N} = l\omega \cos \beta - \dot{x} \sin \gamma + x\omega \cos \gamma;$$

$$\dot{H} = l\omega \cos \beta - h\omega \sin \varphi + \dot{\xi} \sin \gamma + \xi\omega \cos \varphi + \dot{x} \sin \gamma$$

$$+x\omega \cos \gamma。$$

当 $\gamma = 0$ 时,

$$\dot{\lambda} = \dot{x} - l\omega \sin \beta - h\omega \cos \varphi + \dot{\xi} \cos \varphi - \xi \omega \sin \varphi;$$

$$\dot{L} = \dot{x} - l\omega \sin \beta;$$

$$\dot{N} = l\omega \cos \beta + x\omega;$$

$$\dot{H} = l\omega \cos \beta + \dot{\xi} \sin \varphi + \xi \omega \cos \gamma + x\omega - h\omega \sin \varphi。$$

$\dot{\lambda}$; \dot{L} ; \dot{N} ; \dot{H} 的公式同样可以写成下列形式:

$$\dot{\lambda} = \dot{x} + \dot{\xi} \cos \varphi - H\omega;$$

$$\dot{L} = \dot{x} - N\omega;$$

$$\dot{N} = L\omega;$$

$$\dot{H} = \lambda\omega + \dot{\xi} \sin \varphi。$$

即

$$\frac{d}{dt}(\lambda^2 + H^2) = 2\lambda\dot{\lambda} + 2H\dot{H} = 2\lambda(\dot{x} + \dot{\xi} \cos \varphi - H\omega)$$

$$+ 2H(\lambda\omega + \dot{\xi} \sin \varphi) = 2\lambda\dot{x} + 2\dot{\xi}(\lambda \cos \varphi + H \sin \varphi);$$

$$\frac{d}{dt}(L^2 + N^2) = 2L\dot{L} + 2N\dot{N} = 2L(\dot{x} - N\omega) + 2NL\omega = 2L\dot{x}。$$

因而,

$$\frac{d}{dt}[I_A + I_B + (\lambda^2 + H^2)M_A + (L^2 + N^2)M_B]$$

$$= 2M_A \dot{\xi} (\lambda \cos \varphi + H \sin \varphi) + 2\dot{x} (M_A \lambda + M_B L)。$$

利用所得出的结果, 可以把方程式 (111) 写成下一形式:

$$\frac{d}{dt}(I_0 \omega) + \ddot{x} (M_A H + M_B N) - \ddot{\xi} q M_A = m_0,$$

式中

$I_0 = I_A + I_B + (\lambda^2 + H^2)M_A + (L^2 + N^2)M_B$ ——整个武器对支点 O 的转动惯量;

$q = h + N \cos \varphi - L \sin \varphi$ ——图 60 中所示的距离;

$m_0 = F_1(l_1 - N) - F_2(l_2 + L)$ ——所有外力对支点 O 的力矩。

这样一来，对于所研究的情况来講，最后得出下列方程組：

$$\ddot{x}(M_A + M_B) + \omega^2(M_B L + M_A \lambda) + \dot{\omega}(M_B N + M_A H) - \ddot{\xi} M_A \cos \varphi + 2\dot{\xi} \omega M_A \sin \varphi = -F_1; \quad (113)$$

$$[\ddot{x} \cos \varphi - 2\dot{x} \omega \sin \varphi - \ddot{\xi} + \omega^2 k + \dot{\omega} \gamma] M_A = -H; \quad (114)$$

$$-\frac{d}{dt}(I_0 \omega) + \ddot{x}(M_A H + M_B N) - \ddot{\xi} q M_A = m_0; \quad (115)$$

式中

$k = L \cos \varphi + N \sin \varphi + \xi$ ——圖 60 中所示的尺寸。

上面所求得的公式可以用在一系列的 特殊情况，例如，当 $x = 0$ 时， $\varphi = 0$ 时等。

在所有这些情况下，公式都能简化一些。

§4 射击时手提式武器稳定性计算示例

假設要計算导气式自动机的武器在射击时于垂直面上轉动的角度。

为了使問題简化起見，假設武器机匣質心和活动部分質心位于同一个垂直面上，而且所有的力和冲量亦作用在此平面内。我們还假設，在發射前，槍膛軸綫居水平位置（ $\varphi = 0$ ）。

在整个自动机工作循环時間内，我們把活动部分的質量看作常量，把自动机活动部分速度变化真实圖解简化一下，即用直綫綫段代替复杂的曲綫，但由直綫所圍成的面积須与由曲綫所圍成的面积相同（圖 61）。

圖 62 所示为自动槍原理圖及說明以時間为函数的 ξ 、 $\dot{\xi}$ 、 $\ddot{\xi}$ 諸值变化圖解。

为了解所討論的例题，假設下列数据已知：

自动武器机匣的質量 $M_B = 0.4 \frac{\text{кг/сек}^2}{\text{м}};$

自动机活动部分的質量 $M_A = 0.1 \frac{\text{кг/сек}^2}{\text{м}};$

自动武器机匣对过其質心的水平軸的轉动慣量 $I_B = 0.02 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{сек}^2;$

自动机活动部分对过其质心的水平轴的转动惯量

$$I_A = 0.001 \text{ kgm}^2/\text{cc}^2;$$

人肩的反作用力

$$F_1 = 10 \text{ kg};$$

左手的反作用力

$$F_2 = 2 \text{ kg};$$

F_1 的力臂

$$l_1 = 0.04 \text{ m};$$

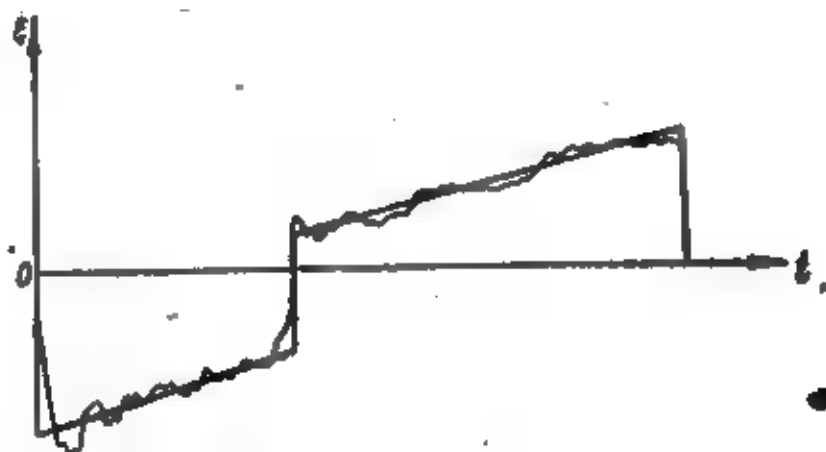


圖61 表示自动机各部分相对速度变化的真实圖解和簡化圖解。

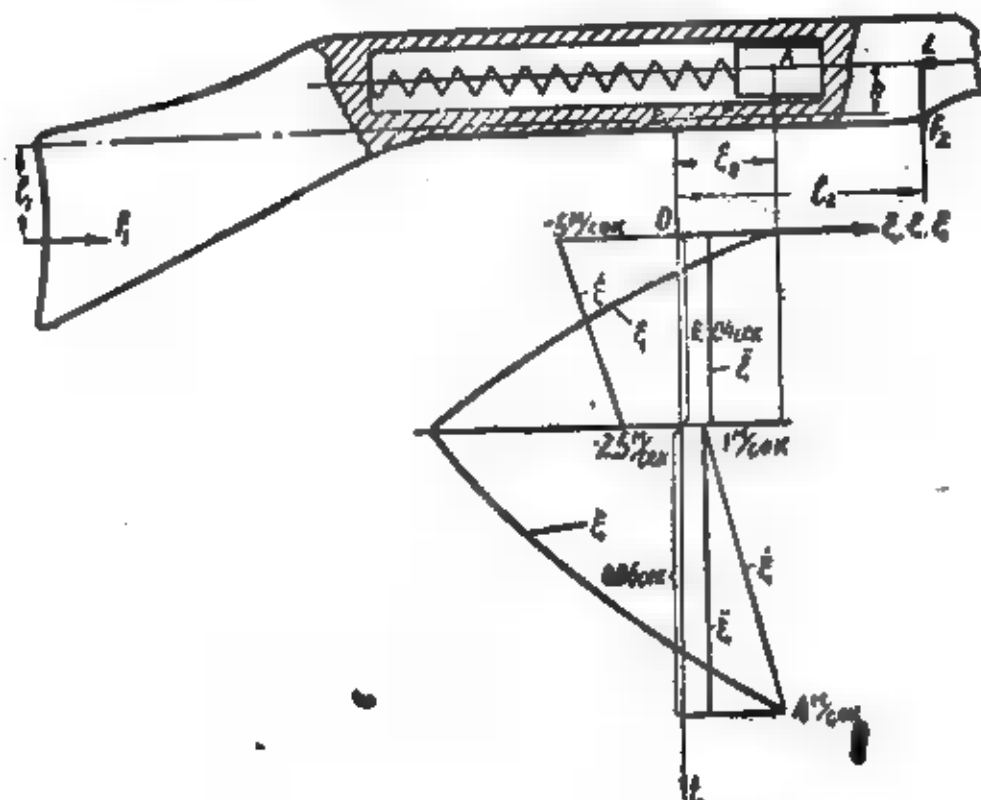


圖62 整个武器和自动机活动部分运动原理圖 ($\varphi = 0$ 时)。

F_2 的力臂

$$l_2 = 0.8 \text{ m};$$

在發射开始瞬間自动机活动部分質心相

对自动槍机 ■ 質心(点 B)的座标 $\xi_0 = 0.04 \text{ m};$

$$h = 0.02 \text{ m};$$

作用于槍膛底部的火藥气体压力冲量 $i = 0.9 \text{ kg} \cdot \text{cs} \cdot \text{cm}。$

〔解〕

我們認為，自动机工作开始前，活动部分相对自动武器机匣不作位移。因而，在該种情况下，在冲量作用下自动槍在垂直面上将对其質心轉动。

整个自动槍的質心(点 C)相对机匣質心(点 B) ■■■ 可以按下一公式求出：

$$x_{BC} = \frac{M_A}{M_A + M_B} \xi_0 = 0.008 \text{ m},$$

$$y_{BC} = \frac{M_A}{M_A + M_B} h = 0.004 \text{ m}。$$

因而，活动部分質心(点 A)相对整个自动槍質心(点 C)的座标：

$$x_{AC} = \xi_0 - x_{BC} = 0.032 \text{ m},$$

$$y_{AC} = h - y_{BC} = 0.016 \text{ m}。$$

即膛底火藥气体压力冲量相对，点 C 的作用力臂为：

$$y_i = y_{AC} = 0.016 \text{ m}。$$

整个自动槍相对其質心(点 C)的轉动慣量。

$$I_C = I_A + I_B + \frac{M_A M_B}{M_A + M_B} (h^2 + \xi_0^2) \approx 0.021 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{cs}^2$$

此結果証明，整个自动槍相对其質心的轉动慣量大致等于轉动慣量之和 $I_A + I_B$ 。

由于只有一个冲量 i 作用，因此，整个自动槍获得了对質心的动量矩增量和質心动量增量。

自动槍对其質心的角速度和冲量 i 作用后自动槍的質心速度可以根据下一公式求出：

$$\omega' = \omega + \frac{iy_i}{I_C},$$

$$V'_{Cx} = V_{Cx} + \frac{I}{M_A + M_B} \circ$$

假設，發射前自動槍处于靜止狀態 $\omega = 0$ 和 $V_{Cx} = 0$ ，把各數值代入上述公式中，則得●

$$\omega' = 0.69^1/\text{сек},$$

$$V'_{Cx} = 1.8 \text{ м/сек}.$$

點 A 和點 B 的速度（機匣質心，活動部分質心）可按下一公式求出：

$$V'_{Ax} = V'_{Cx} + \omega' y_{Ac} \approx 1.8 \text{ м/сек};$$

$$V'_{Ay} = V'_{Cy} + \omega' x_{Ac} = 0.022 \text{ м/сек};$$

$$V'_{Bx} = V'_{Cx} - \omega' y_{BC} \approx 1.8 \text{ м/сек};$$

$$V'_{By} = V'_{Cy} - \omega' x_{BC} \approx \text{■}.$$

求此結果時沒有考慮到因彈丸運動而引起的作用于整個武器上的旋轉力矩和迴轉力矩。

考慮這些力矩對此結果的改變很小。所以，評價自動武器穩定性時在計算中可以不考慮它們。

在必須考慮■彈丸運動而引起的旋轉力矩時可以利用上■所求得的整個武器和自動機各部分平穩運動公式，用彈丸質量代替■動機活動部分的質量。

我們繼續所討論的例題，假設，在沖量 i 之後立刻作用有導氣箍內的火藥氣體壓力沖量，此沖量使自動機活動部分速度瞬時增加到 5 м/сек 。

由此沖量作用而引起的自動槍■速度增量可以根據下一公式求出●。

$$\omega' = \omega + \frac{V}{A} \frac{a}{1+a},$$

式中

ω ——初角速度 ($\omega = 0.69^1/\text{сек}$);

● $V_{Cy} = V'_{Cy} = 0$.

● 參看64頁。

ψ ——导气箍内的火药气体压力作用后，点A对于点B的速度在水平轴上的投影 ($\psi = -5 \text{ м/сек}$)。

后一公式中的系数 α 等于

$$\alpha = \frac{h^2}{(I_A + I_B) \left(\frac{M_A + M_B}{M_A M_B} \right) + \xi^2} = 0.00152。$$

把 ω' 的公式中所含各量的数值代入，则得

$$\omega' = 0.31^\circ/\text{сек}。$$

机匣质心速度和活动部分质心速度（点B和点A）按下列公式●求出

$$V'_{Ax} = V_{Ax} - \frac{\psi}{1 + \frac{M_A}{M_B}} \frac{1}{1 + \alpha} = 5.8 \text{ м/сек};$$

$$V'_{Ay} = V_{Ay} + \frac{\psi}{1 + \frac{M_A}{M_B}} \frac{\xi_0}{h} \frac{\alpha}{1 + \alpha} = 0.01 \text{ м/сек};$$

$$V'_{Bx} = V_{Bx} + \frac{\psi}{1 + \frac{M_B}{M_A}} \frac{1}{1 + \alpha} = 0.8 \text{ м/сек};$$

$$V'_{By} = V_{By} - \frac{\psi}{1 + \frac{M_B}{M_A}} \frac{\xi_0}{h} \frac{\alpha}{1 + \alpha} \approx 0。$$

其次，活动部分向最后方位置作平稳运动（没有撞击运动）。为了确定在此时期的运动诸元，我们利用下列方程式●：

$$\dot{V}_{Bx}(M_A + M_B) = \ddot{\xi} M_A - F_1; \quad \dot{V}_{By}(M_A + M_B) = -2\dot{\xi}\omega M_A - F_2;$$

$$\frac{d}{dt}(I_0\omega) = \pi h + m_0,$$

式中

$$\pi h = \frac{M_A M_B}{M_A + M_B} h \ddot{\xi};$$

$$m_0 = F_2 \left(\xi \frac{M_A}{M_A + M_B} - l_2 \right) + F_1 \left(h \frac{M_A}{M_A + M_B} + l_1 \right);$$

$$I_0 = I_A + I_B + \frac{M_A M_B}{M_A + M_B} (\xi^2 + h^2)。$$

● 参看63页。

● 参看81和82页。

將公式中所含各量的值代入后面的諸公式中，則得

$$\pi h = 0.0016 \ddot{\xi}; \quad m_0 = 0.28 + 0.4 \ddot{\xi};$$

$$I_0 = 0.021 + 0.08(0.0004 + \xi^2)。$$

對於所討論的運動期來講，

$$\ddot{\xi} = 62.5 \text{ м/сек}^2, \quad \xi = (0.04 \text{ 至 } -0.11) \text{ м}。$$

因而，

$$\pi h = 0.1 \text{ кг м};$$

$$m_0 = 0.296 \text{ кг м (當 } \xi = 0.04 \text{ м)};$$

$$m_0 = 0.236 \text{ кг м (當 } \xi = -0.11 \text{ м)};$$

$$I_0 = 0.0214 \text{ кг м сек}^2 \text{ (當 } \xi = 0.04 \text{ м)};$$

$$I_0 = 0.0224 \text{ кг м сек}^2 \text{ (當 } \xi = -0.11 \text{ м)}。$$

取其平均值

$$I_0 = \frac{0.0214 + 0.0222}{2} = 0.022 \text{ кг м сек}^2;$$

$$m_0 = \frac{0.296 + 0.236}{2} = 0.266 \text{ кг м}。$$

此時，運動微分方程式的形式如下：

$$\dot{V}_{Bx} = -7.5;$$

$$\dot{V}_{By} = -4 - 0.4 \dot{\xi} \omega;$$

$$\frac{d\omega}{dt} = 16.6。$$

積分第一個方程式和最後一個方程式，則得

$$V_{Bx} = V_{Bx0} - 7.5 t; \quad x_B = x_{B0} + V_{Bx0} t - 3.75 t^2;$$

$$\omega = \omega_0 + 16.6 t; \quad \varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + 8.4 t^2。$$

為了積分第二個方程式，需要表明 $\dot{\xi} = f(t)$ 。利用圖 62 中的圖解，則得

$$\dot{\xi} = \dot{\xi}_0 + \ddot{\xi} t。$$

$$\dot{V}_{By} = -4 - 0.4 (\dot{\xi}_0 + \ddot{\xi} t) (\omega_0 + 16.6 t)。$$

當

$\dot{\xi}_0 = -5 \text{ м/сек}$; $\ddot{\xi}_0 = 62.5 \text{ м/сек}^2$; $\omega_0 = 0.31 \text{ м/сек}$ 时,

得

$$\dot{V}_{By} = -3.38 + 25.5t - 415t^2。$$

由此求出

$$V_{By} = V_{By0} - 3.38t + 12.75t^2 - 138t^3;$$

$$y_B = y_{B0} + V_{By0}t - 1.69t^2 + 4.25t^3 - 34.5t^4。$$

当

$$V_{Bx0} = 0.8 \text{ м/сек}; V_{By0} = 0;$$

$$x_{B0} = 0; y_{B0} = 0;$$

$$\omega_0 = 0.31 \text{ 1/сек}; t = 0.04 \text{ сек}; \varphi_0 = 0 \text{ 时},$$

则得

$$V_{Bx} = 0.5 \text{ м/сек}; V_{By} = -0.114 \text{ м/сек}; \omega = 0.97 \text{ 1/сек};$$

$$x_B = 24 \text{ мм}; y_B = -2 \text{ мм}; \varphi = 0.0262 \text{ 弧度}(0^\circ 43')。$$

速度 V_{Ax} 和 V_{Ay} 可以根据下列运动关系式求出 (当 $\varphi = 0$ 时):

$$V_{Ax} = V_{Bx} + \omega b - \dot{\xi},$$

$$V_{Ay} = V_{By} + \omega \xi_0。$$

把上面所求得的 V_{Bx} , V_{By} , ω 和 $\dot{\xi}$ 的值代入, 则得

$$V_{Ax}' = 3 \text{ м/сек};$$

$$V_{Ay}' = -0.22 \text{ м/сек}。$$

当活动部分到达最后方位置时对枪尾发生撞击。

撞击后的速度可按下列公式求出:

$$V_{Ax}' = V_{Ax} - \frac{W_0(1+b)}{1 + \frac{M_A}{M_B}} \frac{1}{1+\alpha};$$

$$V_{Ay}' = V_{Ay} + \frac{W_0(1+b)}{1 + \frac{M_A}{M_B}} \frac{2}{1} \frac{\alpha}{1+\alpha};$$

$$V_{Bx}' = V_{Bx} + \frac{W_0(1+b)}{1 + \frac{M_B}{M_A}} \frac{1}{1+\alpha};$$

$$V'_{By} = V_{By} - \frac{W_0(1+b)}{1 + \frac{M_B}{M_A}} \frac{\xi}{h} \frac{\alpha}{1+\alpha};$$

$$\omega' = \omega + W_0(1+b) \frac{1}{h} \frac{\alpha}{1+\alpha},$$

式中

$$W_0 = V_{Ax} - V_{Bx} - \omega h,$$

$$\alpha = \frac{A^2}{(I_A + I_B) \frac{M_A + M_B}{M_A M_B} + \xi^2}.$$

将各数值代入上述公式中 (当 $b = 0.4$ 时), 则得:

$$\alpha = 0.00146;$$

$$V'_{Ax} = 0.17 \text{ м/сек};$$

$$V'_{Bx} = 1.15 \text{ м/сек};$$

$$\omega' = 1.22 \text{ 1/сек};$$

$$W_0 = 2.5 \text{ м/сек};$$

$$V'_{Ay} = -0.242 \text{ м/сек};$$

$$V'_{By} = -0.109 \text{ м/сек}.$$

撞击后, 活动部分复进。此运动可以用在研究活动部分后退运动时已应用的微分方程式表示之。

$$\dot{V}_{Bx}(M_A + M_B) = \ddot{\xi} M_A - F_1;$$

$$\dot{V}_{By}(M_A + M_B) = -2\dot{\xi}\omega M_A - F_2;$$

$$\frac{d}{dt}(I\omega) = \pi h + m_0.$$

将各数值代入这些微分方程式中, 则得:

$$\dot{V}_{Bx} = 0.2\ddot{\xi} - 20;$$

$$V_{By} = -4 - 0.4\dot{\xi}\omega;$$

$$I_0\dot{\omega} = \pi h + m_0,$$

式中:

$$\pi h = 0.0016 \ddot{\xi} \text{ кс м};$$

$$m_0 = 0.266 \text{ кс м};$$

$$I_0 = 0.022 \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{сек}^2;$$

$$\ddot{\xi} = 50 \text{ м} / \text{сек}^2;$$

$$\dot{\xi} = 1 + 50 t;$$

用这些数值时后面的公式变成如下的形式:

$$\dot{V}_{Bx} = -10;$$

$$\dot{V}_{By} = -4 - 0.4(1 + 50 t) \omega;$$

$$\dot{\omega} = 15.7。$$

积分后, 得下列结果:

$$V_{Bx} = V_{Bx0} - 10 t;$$

$$x_B = x_{B0} + V_{Bx0} t - 5 t^2;$$

$$V_{By} = V_{By0} - 4 t - 0.4 \omega_0 t - 3.15 t^2 - 10 \omega_0 t - 105 t^2;$$

$$y_B = y_{B0} + V_{By0} t - 2 t^2 - 0.2 \omega_0 t^2 - 1.05 t^3 - 3.3 \omega_0 t^3 - 26 t^4;$$

$$\omega = \omega_0 + 15.7 t;$$

$$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + 7.85 t^2。$$

在这些方程式中

$$V_{Bx0} = 1.15 \text{ м} / \text{сек}; \quad x_{B0} = 24 \text{ мм};$$

$$V_{By0} = 0.109 \text{ м} / \text{сек}; \quad y_{B0} = -2 \text{ мм};$$

$$\omega_0 = 1.221 / \text{сек}; \quad \varphi_0 = 0.0262 \text{ 弧度}。$$

当时间 $t = 0.06 \text{ сек}$ 时, 用这些起始值则得

$$V_{Bx} = 0.55 \text{ м} / \text{сек}; \quad x_B = 75 \text{ мм};$$

$$V_{By} = -0.71 \text{ м} / \text{сек}; \quad y_B = -17.7 \text{ мм};$$

$$\omega = 2.161 / \text{сек}; \quad \varphi = 0.0618 (3^\circ 33')。$$

点 A 的速度按下列公式求出:

$$V_{Ax} = V_{Bx} + \omega h - \dot{\xi},$$

$$V_{Ay} = V_{By} + \omega \xi_0。$$

在该种情况下

$$V_{Bx} = 0.55 \text{ м} / \text{сек}; \quad V_{By} = -0.71 \text{ м} / \text{сек}; \quad \omega = 2.161 / \text{сек};$$

$$\xi = 4 \text{ м} / \text{сек}; \quad \xi_0 = 40 \text{ мм}; \quad h = 20 \text{ мм}。$$

用这些数值时, 则

$$V_{Ax} = -3.41 \text{ м/сек}, \quad V_{Ay} = -0.63 \text{ м/сек}.$$

为了确定活动部分在最前方位置撞击后的速度，我們可利用前面已講过的求活动部分在后方位置撞击后的速度的公式。

把具体数值代入这些公式中，則得

$$W_0 = -4 \text{ м/сек}; \quad \alpha = 0.00153;$$

$$V'_{Ax} = 1.07 \text{ м/сек}; \quad V'_{Ay} = 0.644 \text{ м/сек};$$

$$V'_{Bx} = -0.57 \text{ м/сек}; \quad V'_{By} = 0.71 \text{ м/сек}; \quad \omega = 1.74 \text{ 1/сек}.$$

所得的结果列于表（見下頁）●中。

圖 63 所示为以时间为函数的活动部分的位移和整个武器的轉动角圖解。

评价所得計算結果时应该注意到，由于原始量值是有条件的，因此計算結果也是有条件的。

采用上述的方法同样可以研究連發时下一次發射中武器的运动。此时为了研究每次自动机工作循环

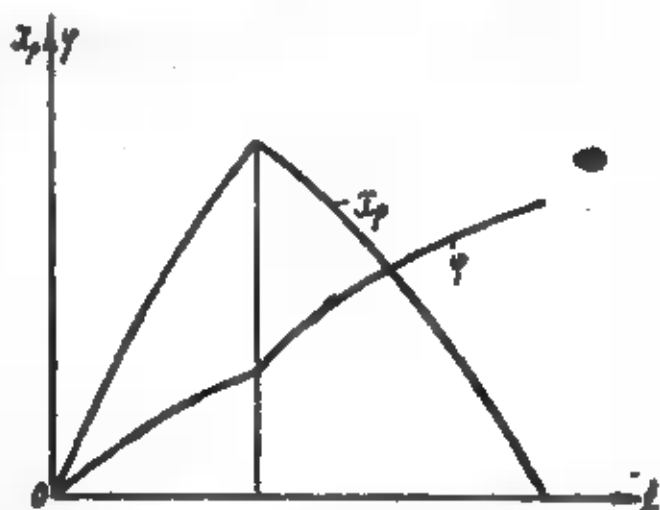


圖 63 表示在垂直面上活动部分位移 x_p 和武器轉动角 φ 的圖解。

时武器的运动，要考虑前次自动机工作循环結束时所产生的初速度和位移。

如果在研究武器稳定性时不可能認為，所有冲量和力同在过撞击体質心的平面上，那么应该应用研究空間运动的公式。在这种情况下然后利用上述方法。

● 表中的分子代表撞击前的速度，分母代表撞击后的速度。

参 射 路 间	$t_{\text{ек}}$	V_{Ax} м/сек	V_{Ay} м/сек	V_{Bx} м/сек	V_{By} м/сек	ω 1/сек	γ_B м/м	φ град
	0	0	0	0	0	0	0	0
输出底部上的冲量作用	0	1.8	0.022	1.8	0	0.69	0	0
气腔内的冲量作用	0	5.8	0.01	0.8	0	0.31	0	0
滑动部分到达最后方位置	0.04	3/0.17	-0.72/-0.242	0.5/1.15	-0.114/-0.109	0.97/1.22	-2	0.0262
滑动部分到达最前方位置	0.1	-3.41/1.07	-0.63/-0.644	0.55/-0.57	-0.71/-0.71	2.16/1.74	-17.7	0.0618

第三章 自动机計算示例

我們以計算导气式自动武器和槍管短后座式自动武器的自动机为例来討論一下如何应用上述的方法来計算自动武器各机构构件运动諸元。

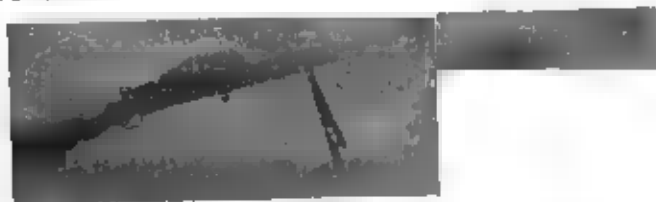


圖64 德普式机槍。

自动机的計算是在武器刚性連結和緩冲的条件下进行的。

我們选择德普式机槍和MG-42机槍作为計算的对象。德普式机槍(圖64)的构造最簡單；其自动机工作时，在大部分循环時間內部件的运动都是在彈簧作用下进行的。MG-42机槍(圖65)的构造复杂；其自动机工作时各部件的运动主要是由于它們运动的約束作用而完成的。这两种自动武器的自动机工作特点决定了应用不同的方法来計算自动机的适宜性。

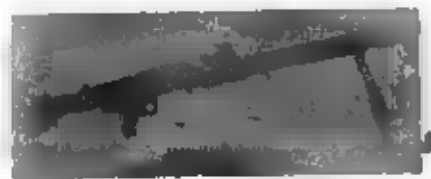


圖65 MG-42 机槍。

§1 导气式自动机的计算 (德普式)

如上所述, 德普式机枪的构造极为简单 (图 64 和 66)。枪机的闭锁是用两块闭锁卡铁来实现的。闭锁时这两块闭锁卡铁借与枪机框相连接的击针的作用而张开, 而在开锁时借枪机框的斜面的作用而收缩。



图 66 德普式机枪的纵剖面。

机枪是利用弹盘供弹的。机枪没有缓冲装置。
在表中列有德普式机枪的主要重量诸元。

部 件 名 称	重 量 (kg)	质 量 $\frac{kg \cdot cm^2}{m}$
带闭锁卡铁的枪机	$Q_b = 0.245$	$M_b = 0.0351$
带击针的枪机框	$Q_p = 0.785$	$M_p = 0.08$
复进簧	$Q_n = 0.035$	$M_n = 0.004$
带后座滑框的机枪枪身 (不带自动机活动部分)	$Q_k = 42.64$	$M_k = 1.290$
缓冲器弹簧	$Q_a = 0.170$	$M_a = 0.0173$

图 67 和 68 所示的是说明自动机各部分质量和作用力变化的图解。计算自动机活动部分质量时, 在枪机框的质量上加三分之一的复进簧质量, 在抽壳期间在枪机质量上加上弹壳质量 ($m_r = 0.001 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2/\text{m}$), 而在供弹期间加上枪弹质量 ($m_n = 0.0023 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2/\text{m}$)。

德普式机枪的枪机闭锁机构的构造 (闭锁卡铁借助于击针的作用而分开) 使枪机框与枪机一起运动时产生很大的摩擦力。将

此阻力作为常量 ($R = 1 \text{ kg}$) 来考虑。在图解上所示的作用力值已考虑到此阻力之作用。

由弹盘推出枪弹时所产生的阻力之绝对值，等于由弹盘供弹时枪机框运动段上的复进簧平均弹簧内力。



图67 质量和力的变化图解。

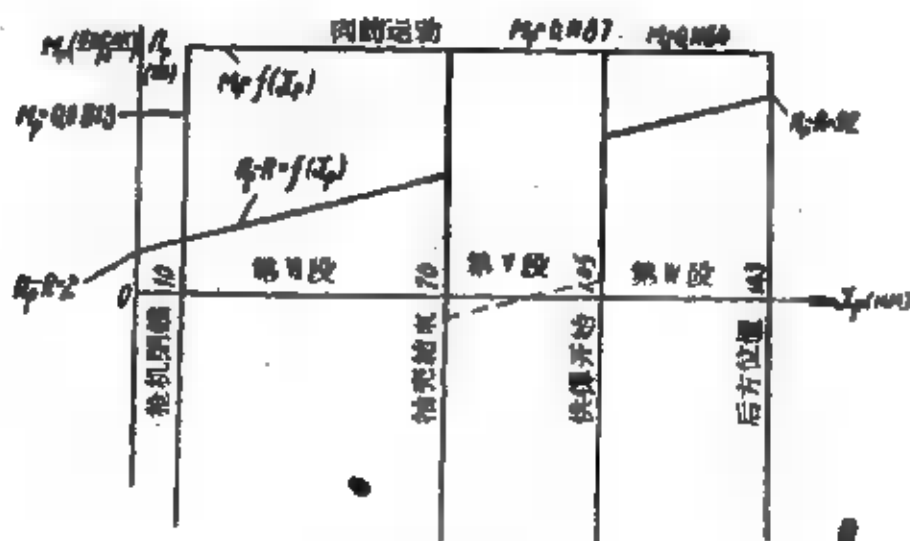


图68 质量和力的变化图解。

1. 在武器刚性連結的条件下自动机的計算

第1段 槍机框自由行程 ($x_p = 0 \sim 10\text{mm}$)

計算在此期間的运动特征数曾举例●說明，例中得出下列結果：

槍机框自由行程結束时

$$V_p = 6.6 \text{ m/sec}, \quad t = 0.0025 \text{ sec}.$$

求速度 V_p 时沒有考虑到复进簧的阻力。

注意到，复进簧的阻力比导气箍內的火藥气体压力小得多，对此阻力可以近似地来考虑，因此可以把复进簧的阻力看作是一常量。

考虑●复进簧的阻力，在槍机开锁开始时槍机框的速度等于 $V_p = 6.4 \text{ m/sec}$ 。

最后，在所研究的运动段結束时，得下列运动特征数：

$x_p \text{ mm}$	$V_p \text{ m/sec}$	$t \text{ sec}$
10	6.4	0.0025

第2段 槍机框在与槍机联接前的运动 ($x_p = 10 \sim 16\text{mm}$)

槍机开锁时槍机框的斜面对閉鎖卡铁的突出部發生斜撞击。

这种撞击情况已作为例子●討論过；例中确定了下列轉換質量的数值：

$$m_A = 0.081 \text{ kg sec}^2/\text{m};$$

$$m_B = 0.01 \text{ kg sec}^2/\text{m};$$

m_A ——槍机框的替換質量；

m_B ——击針的替換質量。

例中还确定了傳速比：

● 參看本書上册原文第102頁。

● 參看本書上册原文第384頁。

$$k = \frac{v_B}{v_A} = 0.425。$$

已知撞击前枪机框的速度

$$V_p = 6.4 \text{ м/сек},$$

而闭锁卡铁质量集中点 B 在撞击前的速度 $V_B = 0$ 并利用下一公式

$$V'_p = V_p - \frac{V_p(1+b)}{1 + \frac{m_A}{m_B k^2}},$$

则枪机框在与闭锁卡铁撞击后的速度 (恢复系数 $b = 0.4$ 时)

$$V'_p = 6.2 \text{ м/сек}。$$

我們假设, 此撞击是瞬时發生的, 而枪机框速度的改变值为 $\Delta V_p = V_p - V'_p$, 则可依下一公式求出下一运动段上枪机框的速度和位移:

$$V_p = \frac{s_{\pi} i_0}{M_p} k_V - \Delta V_p,$$

$$x_p = \frac{s_{\pi} i_0 b}{M_p} k_x - \Delta V_p (t - t_1)。$$

在所討論的情况下

$$s_{\pi} = 1.13 \text{ см}^2; i_0 = 0.84 \text{ м/сек/см}^2; M_p = 0.081 \text{ м};$$

$$t_1 = 0.025 \text{ сек}。$$

因而,

$$V_p = 11.8 k_V - \Delta V_p,$$

$$x_p = 0.0136 k_x - \Delta V_p (t - t_1)。$$

根据后一公式可以求出关系式 $x_p = f(t)$ 。

由計算結果得出求未知关系的圖解(圖69)和表:

$t \text{ сек}$	0.0025	0.003	0.004
$x_p \text{ мм}$	10	12.5	19.5

我們利用圖解(圖69)可以求出与枪机框撞击枪机的時間相对应的枪机框运动時間($x_p = 16 \text{ мм}$); $t = 0.0035 \text{ сек}。$

利用該時間可以求出系数 $k_v = 0.63$ 和槍机框撞击槍机的瞬間槍机框的速度

$$V_p = 7.2 \text{ m/sec.}$$

考虑到复进簧的阻力和摩擦力，我們將修正量代入所求出的諸值中，則得槍机框撞击槍机瞬間槍机框的运动特征数如下：

$t \text{ sec}$	$V_p \text{ m/sec}$	$x_p \text{ mm}$
0.0035	6.60	16

槍机框对槍机的撞击是属于各机构构件直接撞击的情况。

这里如同大部分的閉鎖机构結構一样，槍机框与槍机可能發生連續數次的撞击（对槍机突出部的撞击，对閉鎖卡铁的撞击，圖70）。

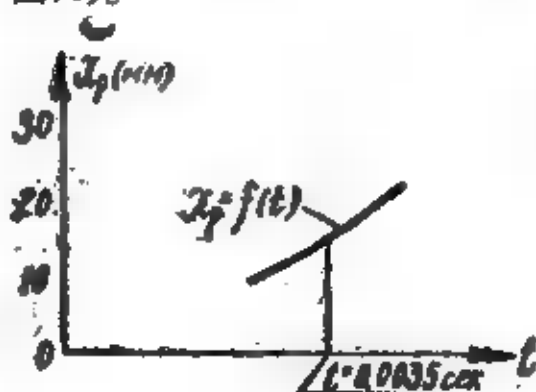


圖69 $x_p = f(t)$ 圖解。

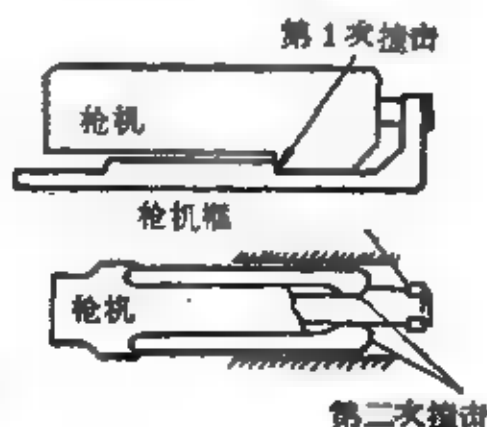


圖70 槍机框对槍机的撞击圖。

撞击之后，槍机和槍机框的速度可視作两种非彈性体的直接撞击后的速度，依下一公式确定之：

$$V'_p = V_p \frac{M_p}{M_p + M_b}.$$

將数值代入此公式中，則得：

$$V'_p = 4.6 \text{ m/sec.}$$

第3段 槍机向后方位置的運動 ($x_p = 16 \sim 143 \text{ mm}$)

在此運動段上，槍机与槍机框一起向后方位置運動并同时受复进簧阻力的作用。

在此段的初期，膛内火藥气体的压力朝向槍机运动的方向作用于彈壳底上，而抽壳力以相反的方向作用于彈壳底上。当自动机在正常的工作條件下可以認為这两个力大致互相抵消。

这样一來，在所采用的假設条件下，我們可以把这一段上槍机框与槍机的运动看作是受彈簧阻力作用的平移直綫运动。

我們用圖解解析法（圖 71）来研究此运动并利用下列原始数据：

$f = \frac{f_P + R}{\eta} = 96 \text{ mm}$ ——在所研究的运动期开始时（圖 67 的圖解），复进簧的預压量（考虑到阻力 R ）；

$V_p = 4.6 \text{ m/sec}$ ——在此运动期开始时槍机框和槍机的初速（槍机框和槍机連接后的速度）；

$\eta = 50 \text{ kg/m}$ ——复进簧的剛度系数；

$p = \sqrt{\frac{\eta}{M_p + M_s}} = 20.6 \text{ 1/sec}$ ——武器自由振动圓周頻率；

$$\frac{V'_p}{p} = 0.223 \text{ m.}$$

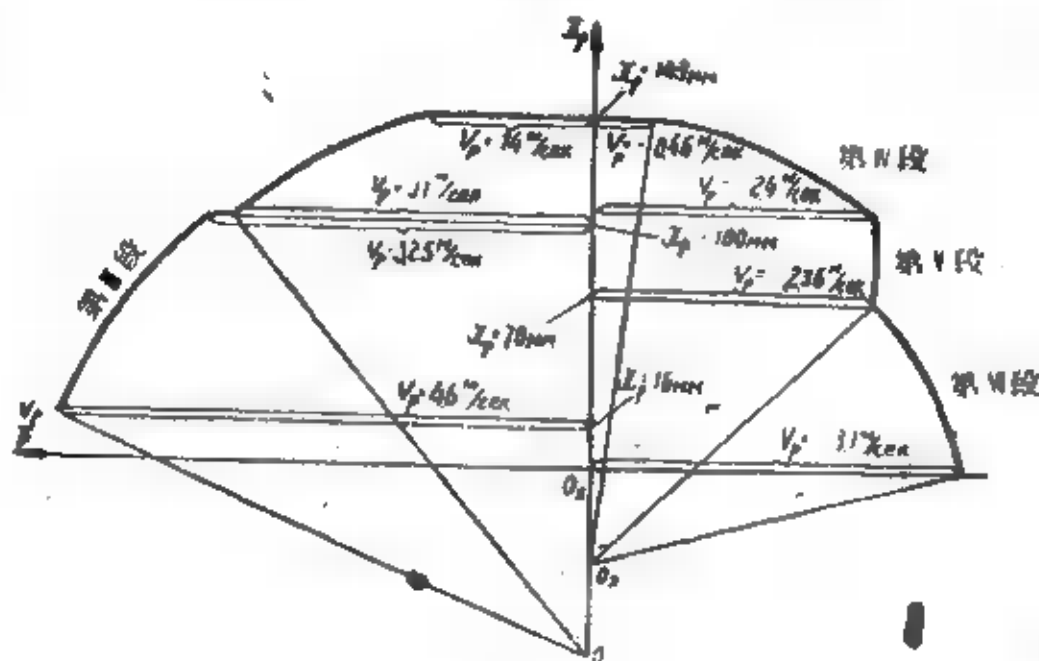


圖 71 圖解作圖。

为了进行圖解解析計算，給出下列比例： $\alpha_x = 2$ ， $\alpha_t = 0.0005$ $\text{сек}/\text{мм}$ 和角度 $\Delta\alpha = 0.262^\circ$ 。

我們求出間距 h 和比例尺 α_v

$$h = \frac{\Delta\alpha}{\rho\alpha_t} = 0.0255\text{м},$$

$$\alpha_v = \rho\alpha_x = 0.0412\text{м}/\text{сек. мм}.$$

圖71所示的是确定在所研究的运动期內（从縱座标軸的左边起）槍机框位移和速度与時間的关系所必需的作圖。

根据圖71的圖解我們求出，抛壳瞬間（在此运动期移动 $x_p = 100\text{ мм}$ 之后）槍机框的速度等于 $V_p = 3.25\text{ м}/\text{сек}$ 。

抛壳时（圖72）抛壳挺与彈底緣發生的撞击。此撞击情况可以用原理圖（圖73）。

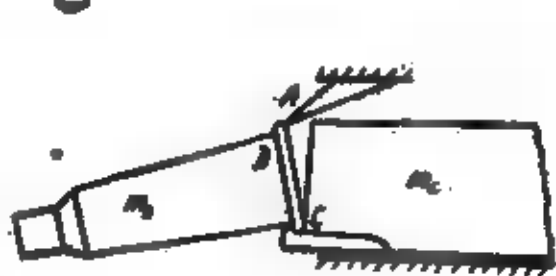


圖72 抛壳圖。

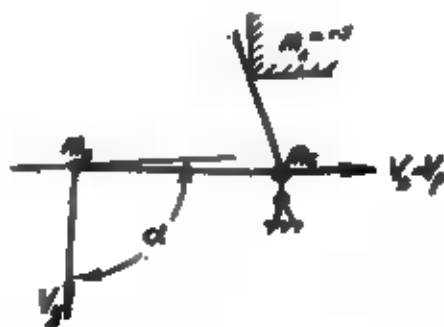


圖73 原理圖。

为了求出抛壳后槍机框的速度，我們利用求三个构件撞击的公式，当 $V_A = 0$ ； $V_C = V_p$ ； $V_y = 0$ 时，此公式[●]的形式如下：

$$V'_p = V_p - \frac{V_p(1+b)\left(\frac{\mu-1}{\mu}\right)\frac{m_A}{m'}}{1 + \frac{m_A}{m_B k^2 \mu}};$$

机框刚性連接时 ($m_A = \infty$)，則得

$$\mu = \infty; \left(\frac{\mu-1}{\mu}\right)\frac{m_A}{m'} = 1;$$

$$\frac{m_A}{\mu} = \frac{m_C + m_B(1 - k \cos \alpha)}{k - \cos \alpha} k,$$

● 参看本書上冊原文第 373 頁。

式中

m_C ——槍机框和槍机的質量；

m_B ——彈壳的替換質量(圖73)

$$m_B = 0.001 \text{ кг} \cdot \text{сек}^2/\text{м};$$

b ——恢復係數；

α ——圖73所示的角度；

k ——傳速比($k=2$)(圖74)。

將數值代入 V'_p 和 $\frac{m_A}{\mu}$ 的公式中，則得

$$\frac{m_A}{\mu} = 0.117, V'_p = 3.1。$$

槍机框向最后方位置的繼續运动与拋壳前受复进簧阻力时的运动相同。

用圖解解析法研究此运动的情形示于圖71中。

我們根据所作的圖解求出槍机框同槍机在最后方位置时的速度 $V_p = 1.4$

м/сек 。帶槍机的槍机框以

此速度与刚性連接的槍尾發生撞击。

撞击时閉鎖卡鉗張开并引起很大摩擦力。

自动机活动部分在后方位置撞击的情况已作为例子討論过●。例中表明，可以用适当减小恢復系数的方法来考虑这些摩擦力。例如，对于所研究的撞击情况来講，恢復系数值为 $b_q = 0.32$ 。采用此恢復系数值时，槍机框撞击后的速度为：

$$V'_p = -V_p b_q = -0.46 \text{ м/сек}。$$

第4段 槍机框在供彈开始前的运动 ($x_p = 143 \sim 105 \text{ мм}$)

在此段上槍机框同槍机一起在复进簧作用下移动。



圖74 傳速比的。

● 參看本書上冊原文第347頁。

活动部分质量的大小和复进力的变化示于质量和力的图解中(圖68)。

在此段上的枪机框运动的图解解析研究示于圖71縱座标軸的右边。

彈盘供彈开始之前的运动特征数如下:

x_p мм	V_p м/сек	t сек
105	-2.4	0.0695

在此段结束时枪机与位于彈盘内的一颗槍彈發生撞击。我們認為此撞击是非彈性的，則得下述的槍机框在撞击后的速度:

$$V'_p = V_p \frac{M_p}{M_p + M_n},$$

式中

$M_n = 0.0023 \text{ кг} \cdot \text{сек}^2/\text{м}$ ——槍彈質量;

$M_p = 0.1164 \text{ кг} \cdot \text{сек}^2/\text{м}$ ——槍机框和槍机的質量。

• 第5段 槍机框在供彈时的运动 ($x_p = 105 \sim 70 \text{ мм}$)

在此段上槍机框与槍机一起在复进簧的作用下移动并同时受增大的阻力的作用。此段上力的变化規律示于圖解中(圖68)。对此段上的运动的图解解析研究与前一运动段上的运动的研究完全相同(圖71)。

此段结束时，得下列运动特征数:

x_p мм	V_p м/сек	t сек
70	-2.36	0.0847

第6段 槍机框向最前方位置的运动 ($x_p = 70 \sim 0 \text{ мм}$)

在此段上，槍机閉鎖前，槍机框与槍机在彈簧作用下一起移动。槍机的閉鎖是在槍机框在最后10мм的路程上运动时發生的，并且这个运动对自动机的工作沒有显著的影响，所以我認為，在此整个运动段上槍机框与槍机是作平移直线运动的。

对此段上的运动的圖解解析研究示于圖71的縱座標軸右边。
此段結束时（自动机工作循环結束时），得下列运动特征数：

x_p мм	v_p м/сек	t сек
0	-3.1	0.11

因而，自动机工作循环時間：

$$t_n = 0.11 \text{ сек},$$

所予期的射击速度

$$n = \frac{60}{t_n} = 545 \text{ выстр/мин (發/分)}.$$

对德普式机槍作試驗研究时所得出的循环時間和射击速度与
此大致相同。

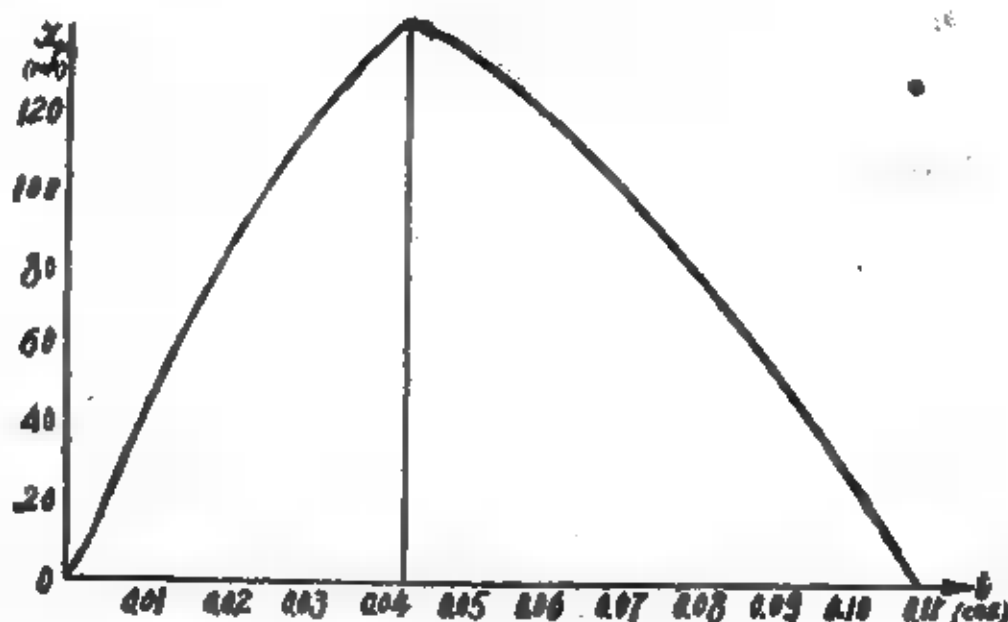


圖75 $x_p = f(t)$ 曲綫。

圖75是計算曲綫 $x_p = f(t)$ 。該曲綫与对德普式机槍自动机
工作作試驗研究时所得出的測速圖完全一致（导气孔的直徑为 d_p
= 3 公厘时，即与計算中所取的直徑相同）。

2. 武器緩冲时自动机的計算

假設，自动机工作条件如前，同一机槍在后座作用下沿平行于槍膛軸綫的方向移动并压缩緩冲器彈簧。在此种情况下計算自动机时，不仅應該考虑到槍机与槍机框的运动，而且还應該考虑到整个武器同槍架某些部件的运动。

計算是在下列的机槍緩冲条件下进行的。發射前，整个机槍向前运动受槍架帶有緩冲垫之部件的限制，因为緩冲器彈簧开始运动时有一定的預压量，同时保證了整个机槍当槍机框(帶槍机)在前方位位置撞击时的位移很小。

我們假設，緩冲器的彈簧有下列特征数：

$\eta = 580 \text{ кг/м}$ ——彈簧剛度；

$\Pi_0 = 22.5 \text{ кг}$ ——預压力 (圖76)。

槍座定向部件的并考虑到緩冲器彈簧質量所研究的整个机槍的質量：

$$M_0 = 1.406 \text{ кг} \cdot \text{сек}^2/\text{м}。$$

考虑到整个机槍的緩冲來計算自动机时，其运动段的划分与机槍剛性連接的情况相同。

我們仅补充一自动机工作开始前武器之运动段，并認為开锁时，

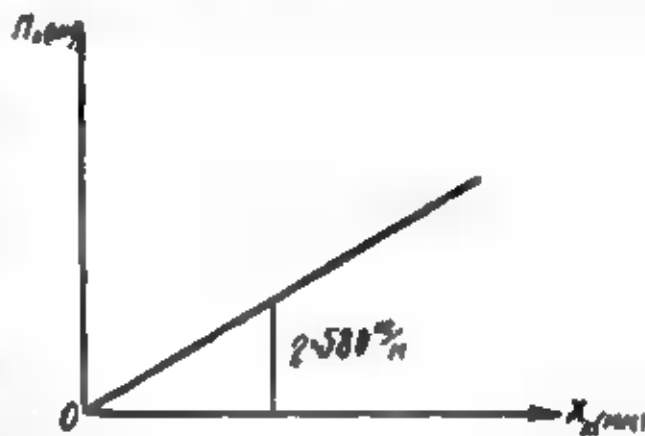


圖76 緩冲器彈簧圖解。

機■与槍机框相連接(当槍机框相对机匣移动 $\xi = 16 \text{ мм}$ 时)。这一假設对計算沒有很大的影响而且使我們可以不去研究从槍机开锁瞬間至槍机与槍机框联接瞬間的运动期。

自动机工作开始前武器的运动

考虑到，在火藥气体压力作用期，膛底的火藥气体压力比緩冲器彈簧彈力大得多，而且火藥气体压力作用時間很短，在这一

运动段上可以利用对武器自由后座诸元作某些修正，借以考虑缓冲器弹簧内力。

德普式机枪机匣运动特征数已作为例子●计算过。例中解得下列各值：

主 要 问 题	t сек	V_k м/сек	x_k мм
弹丸通过导气孔	0.0012	0.62	0.3
弹丸飞出枪口	0.00145	0.67	0.5
后效期	0.0044	0.4	2

确定这些运动特征数时没有考虑到弹簧的阻力。为了考虑弹簧的阻力，我们求出与时间 $t = 0.0044$ сек 相应的速度值和位移值的修正量。

机枪机匣运动的阻力为

$$F = \Pi_k - \Pi_p + R,$$

式中

Π_k ——缓冲器弹簧内力；

Π_p ——复进簧内力；

R ——定向滑板上的摩擦力。

我们取火药气体压力作用时的摩擦力 $R = 5 \text{ кг}$ 。

力 Π_p 在火药气体压力作用期变化很小。因此，我们取它等于开始值 $\Pi_p = 4 \text{ кг}$ 。

我们取力 Π_k 在机匣运动段 $x_k = 2$ 公厘上的平均值。根据图76得出 $\Pi_k = 23 \text{ кг}$ 。

因而， $F = 23 - 4 + 5 = 24 \text{ кг}$ 。

我们根据下一公式求出速度和位移的修正量

$$\Delta V_k = \frac{Ft}{M_0 - M_p}, \quad \Delta x_k = \Delta V_k \frac{t}{2},$$

● 参看本書上冊原文第116頁。

式中 $t = 0.0044 \text{ 秒}$, $M_0 - M_p = 1.325 \text{ 公斤} \cdot \text{厘米}^2 / \text{米}$ 。

将数值代入这些公式中, 则得

$$\Delta V_x \approx 0.08 \text{ 米/厘米}, \Delta x_x \approx 0.2 \text{ 毫米}。$$

因而, 在 $t = 0.0044$ 秒的瞬间, 得

$$\bar{V}_x = V_x - \Delta V_x \approx 0.32 \text{ 米/厘米},$$

$$x'_x = x_x - \Delta x_x \approx 1.8 \text{ 毫米}。$$

第 1 和第 2 段 枪机框在与枪机连接前的运动

$$(\xi = 0 - 16 \text{ 毫米})$$

为了确定在枪机连接瞬间之前枪机框的速度和位移, 要知道在此期间枪机框的运动时间。

根据概略的预先计算, 我们取与枪机连接。前枪机框的运动时间 $t = 0.0032$ 秒(自弹丸通过导气孔的瞬间起)。

我们根据下列公式求出在与枪机连接之前枪机框的速度和位移:

$$V_p = \frac{m i_0 b}{M_p} k_v + V_{x1},$$

$$x_p = \frac{m i_0 b}{M_p} k_x + V_{x1} t + x_{x1},$$

式中 V_{x1} 和 x_{x1} ——弹丸通过导气孔的瞬间整个武器的速度和位移($V_{x1} = 0.62 \text{ 米/厘米}$; $x_{x1} = 0.3 \text{ 毫米}$)。

这些公式中所含的各常量前曾列出:

$m \text{ 厘米}^3$	$M_p \text{ 公斤} \cdot \text{厘米} / \text{米}$	$i_0 \text{ 厘米} \cdot \text{厘米} / \text{厘米}^2$	$b \text{ 厘米}$	α
1.13	0.081	0.84	0.00094	2

k_v 和 k_x 的值根据图解中的 α 值和 $-\frac{t}{b}$ 之比而确定之

$$k_v = 0.6, \quad k_x = 1.2。$$

将数值代入 V_p 和 x_p 的公式中, 则得

$$V_p = 7.6 \text{ 米/厘米}, \quad x_p = 18.5 \text{ 毫米}。$$

为了考虑复进簧的阻力, 把修正量加到所求出的枪机框速度

和位移量中，則得：

$$V_p = 7.2 \text{ м/сек}, x_p = 18 \text{ мм.}$$

同时，槍机框的相对位移（对机匣来讲）

$$\xi = x_p - x_k \approx 16 \text{ мм.}$$

槍机框的这一位移与槍机和槍机框的连接相适应。我們指出，如果 $\xi \neq 16 \text{ мм}$ ，就須要改变一下以前所取的运动时间，借以达到所要求的結果。

就我們所研究的情况来讲（斜撞击），当槍机框与閉鎖卡鉄撞击时前者的速度减少值前已确定●。

撞击閉鎖卡鉄后槍机框的速度和机匣的速度：

$$V_p = 7.05 \text{ м/сек}, V_k = 0.329 \text{ м/сек.}$$

假设，槍机框与槍机的连接是由于中心撞击的結果而产生的，我們来求槍机与槍机框连接后的速度。

此时

$$V'_p = \frac{M_p V_p + M_s V_s}{M_s + M_p},$$

式中 M_p 和 M_s ——槍机框和槍机的質量。

$$(M_p = 0.081 \text{ кг. сек}^2/\text{м}; M_s = 0.036 \text{ кг. сек}^2/\text{м});$$

V_p 和 V_s ——撞击前，槍机框的速度和槍机的速度●。

$$(V_p = 7.05 \text{ м/сек}; V_s = 0.329 \text{ м/сек}).$$

將数值代入后一公式，則得

$$V'_p = 5 \text{ м/сек.}$$

这样一來，槍机与槍机框连接之后，得出下述运动特征数：

其中 ξ ——槍机框的相对位移（对机匣而言）。

t сек	V_k м/сек	x_k мм	ξ мм	x_p мм	V_p м/сек
0.0044	0.329	2	16	18	5

● 參見本書上册原文第 385 頁。

● 此速度等于槍机与槍机框连接瞬間的机匣速度。

根据上述所采用的假定可以不考虑枪机与枪机框联接后的火药气体压力，而将枪机框连同枪机以及机枪机匣的继续运动看成是在弹簧作用下的运动。

计算枪机框运动特征数和机枪机匣的运动特征数时，各运动段的划分与前述的武器刚性连接的情况相同。我们采用近似的图解解析算法。

第3段 枪机框向后方位置的运动 ($\xi = 16 \sim 143 \text{ mm}$)

为了计算此段上的运动，我们已知下列的弹簧特征数和质特征数：

$$\eta_k = 580 \text{ kg/m}; f_k = 41 \text{ mm}; M_k = 1.29 \text{ kg} \cdot \text{сек}^2/\text{m};$$

$$\eta_p = 50 \text{ kg/m}; f_p = 94 \text{ mm}; M_p = 0.117 \text{ kg} \cdot \text{сек}^2/\text{m},$$

式中 η_k 和 η_p ——缓冲器弹簧刚度系数和复进簧弹簧刚度系数；
 f_k 和 f_p ——缓冲器弹簧和复进簧的预压量（包括摩擦力在内）；

M_k 和 M_p ——机枪机匣质量和枪机框连同枪机的质量。

我们利用这些数据，根据近似公式确定基本参量：

$$P_k = \sqrt{\frac{\eta_k}{M_k}} = 21.21 / \text{сек}; \quad P_p = \sqrt{\frac{\eta_p}{M_p}} = 20.61 / \text{сек};$$

$$n = \frac{1}{\frac{\eta_k}{\eta_p} - \frac{M_k}{M_p}} = 1.67;$$

$$x_0 = f_p = 0.094 \text{ m}; \quad \dot{x}_0 = V_p = 5 \text{ m/сек};$$

$$y_0 - nx_0 = -0.116 \text{ m}; \quad \dot{y}_0 - n\dot{x}_0 = V_k - nV_p = -8 \text{ m/сек}.$$

机枪机匣和枪机框运动特征数的图解法示于图 77 中。

在图解上， $y - nx$ 和 nx 的比例尺是 $\alpha_x = 5$ 。 $\Delta\alpha = 0.262$ 或 15° 。取时间比例尺为 $\alpha_t = 0.0005 \text{ сек/мм}$ 。

用此比例尺 α_t 和角 $\Delta\alpha$ 时，在 $y - nx = f(t)$ 和 $nx = f(t)$ 的图解上的间距为：

$$h_1 = \frac{\Delta\alpha}{\rho_k \alpha_t} = 24.7 \text{ мм}, \quad h_2 = \frac{\Delta\alpha}{\rho_p \alpha_t} = 25.4 \text{ мм}.$$

$y - nx$ 和 nx 的值按比例尺分别量

$$\alpha_{V_1} = P_{\kappa} \alpha_x = 0.106 \text{ м/сек. мм},$$

$$\alpha_{V_2} = P_{\rho} \alpha_x = 0.103 \text{ м/сек. мм}.$$

在圖的右边繪有曲線 $y = f(t)$ ，它是由在相同的時間瞬間 $y - nz = f(t)$ 和 $nz = f(t)$ 圖解的縱座標相加而得。曲線 $nz = f(t)$ 也就是比例尺為 $\frac{\alpha_x}{n} = 3$ 的曲線 $z = f(t)$ 。

圖解 $x_p = f(t)$ 和 $x_{\kappa} = f(t)$ 是利用移動座標原点的方法而得出的。這些圖解的座標原點是 O_5 和 O_6 。

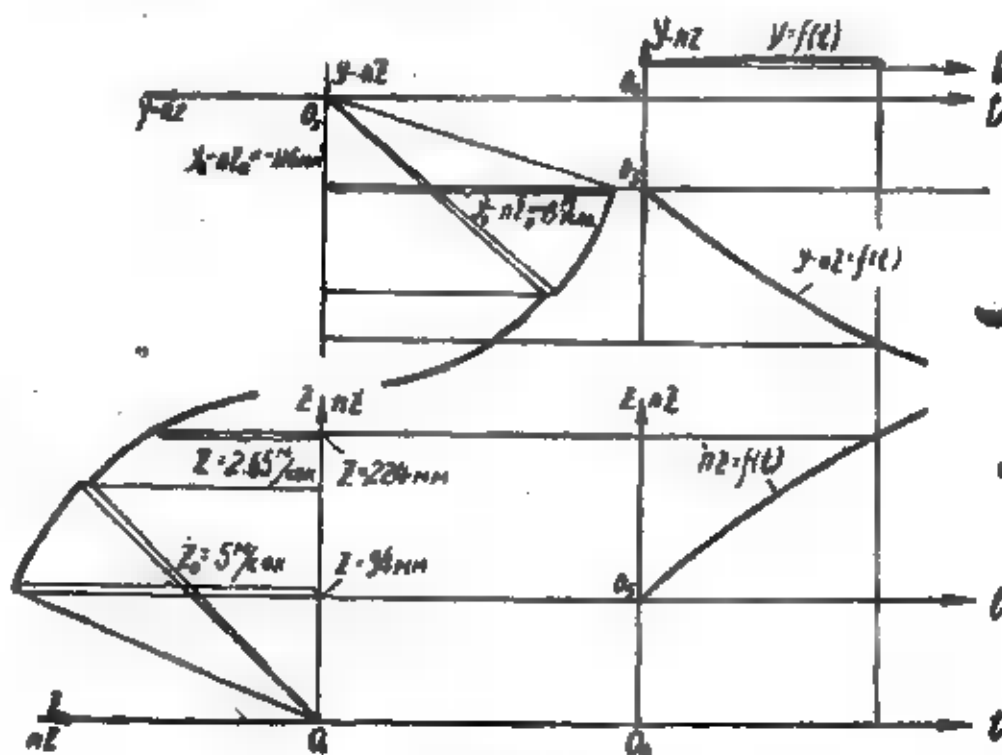


圖77 圖解作圖。

在圖解上(圖77)，當 $\xi = 100 \text{ мм}$ 時重新計算在此瞬間因抽壳而改變的速度縱座標 V_p 。計算在抽壳時槍機框速度改變量與武器剛性連接的情況相同。對圖解 $y = f(t)$ 的縱座標不作重新計算，因為抽壳時圖撞擊實際上對機槍機匣速度沒有顯著的影响。

我們利用圖77上的圖解求出槍機框到達後方位置時之諸元 $V_p = 2.65 \text{ м/сек}$; $V_{\kappa} = 0$; $x_{\kappa} = 6.5 \text{ мм}$; $t = 0.0314 \text{ сек}$ 。

為了確定在後方位置撞擊後槍機框和機槍機匣的速度，利用下列公式：

$$V'_p = V_p - \frac{(V_p - V_k)(1 + b)}{1 + \frac{M_p}{M_k}},$$

$$V'_k = V_k + \frac{(V_p - V_k)(1 + b)}{1 + \frac{M_k}{M_p}},$$

式中 V'_p 和 V'_k ——撞击后枪机框和机枪机匣的速度；

V_p 和 V_k ——撞击前枪机框和机枪机匣的速度 ($V_p = 2.65$ 米/秒, $V_k = 0$)；

b ——恢复系数 ($b = 0.32$)；

M_p 和 M_k ——枪机框连同枪机质量和机枪机匣质量 ($M_p = 0.117$ 千·秒²/米, $M_k = 1.29$ 千·秒²/米)。

将数值代入公式中, 则得

$$V'_p = -0.57 \text{ 米/秒}, \quad V'_k = 0.293 \text{ 米/秒}。$$

第 4 段 枪机框在供弹开始前的运动 ($\xi = 143 \sim 105$ 毫米)

为了计算此段上的运动诸元, 已给出下列特征数:

$$\eta_k = 580 \text{ 千/米}; \quad f_k = 45.5 \text{ 毫米}; \quad M_k = 1.29 \text{ 千·秒}^2/\text{米};$$

$$\eta_p = 50 \text{ 千/米}; \quad f_p = 184 \text{ 毫米}; \quad M_p = 0.1164 \text{ 千·秒}^2/\text{米}。$$

我们利用这些数据, 按照前一运动段的求法确定出基本参量 (参看下表)。

ρ_k (1/秒)	ρ_p (1/秒)	n	x_0 米	\dot{x} 米/秒
21.2	20.6	1.67	0.184	-0.57
$y_0 - nx_0$ 米	$y_0 - nx_0$ 米/秒	α_x 米/毫米	α_t 秒/毫米	k_1 毫米
-0.285	1.32	0.005	0.0005	24.7
l_2 毫米	α_{v1} 米/秒·毫米	α_{v2} 米/秒·毫米		
25.4	0.106	0.103		

通过作圖(圖78), 可以求出供彈开始前槍机框和机槍机匣的速度

$$V_p = 4 \text{ м/сек}, \quad V_z = 0.1 \text{ м/сек}.$$

圖78所示的是确定由彈盘抽彈时和在最后一运动段上, 即槍机框在第5 和第6 段上运动时槍机框运动特征数和机槍机匣运动特征数所必需的作圖。

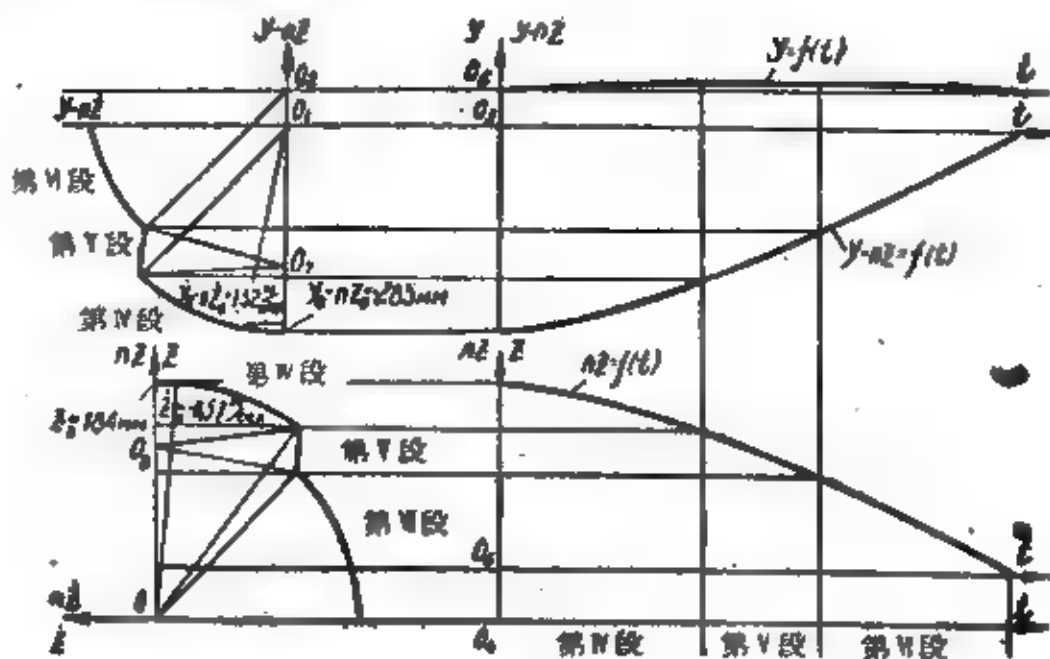


圖78 圖解作圖。

第5 和第6 段 ($\xi = 105 \sim 0$)

此段上的全部作圖与以前各段的作圖完全相似, 然而这里考虑到起始條件之改变(各种不同的起始座标值)。

所作的圖解解析研究結果繪于圖79中, 圖中給出 $x_p = f(t)$ 和 $x_z = f(t)$ 的曲綫。这两条曲綫表示槍机框和机槍机匣絕對座标随时间的变化关系。

根据这些圖解求出自动机工作循环時間 $t_n = 0.106 \text{ сек}$ 和预期的射击速度 $n = \frac{60}{t_n} = 565 \text{ густр/мин}$ (發/分)。

为了比較一下德普式机槍在緩冲情况下和剛性連接情况下自动机的工作, 在圖80上繪有說明槍机框絕對座标在上述两种条件下随時間变化的計算曲綫 $x_p = f(t)$ 。

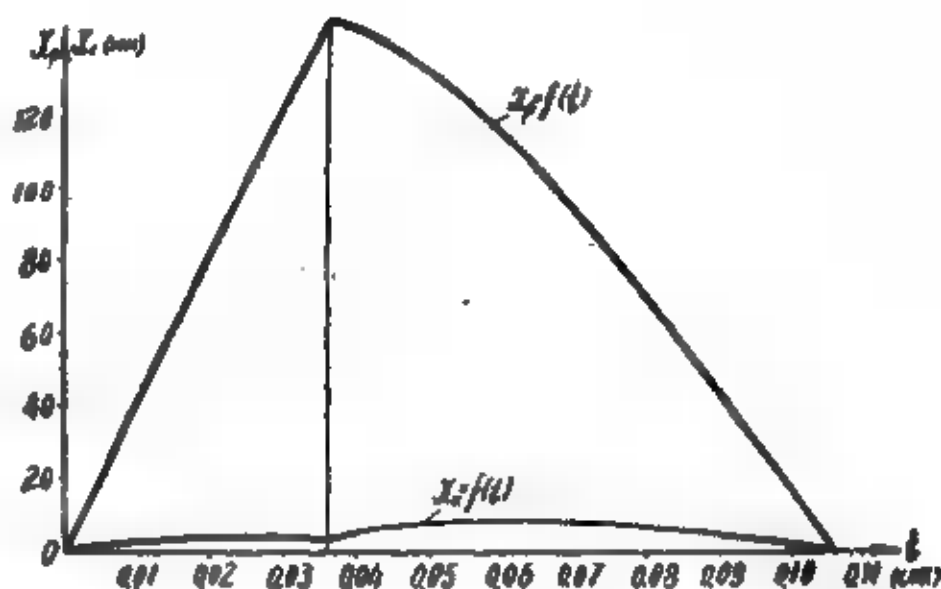


圖79 $x_p = f(t)$ 和 $x_k = f(t)$ 計算圖解。

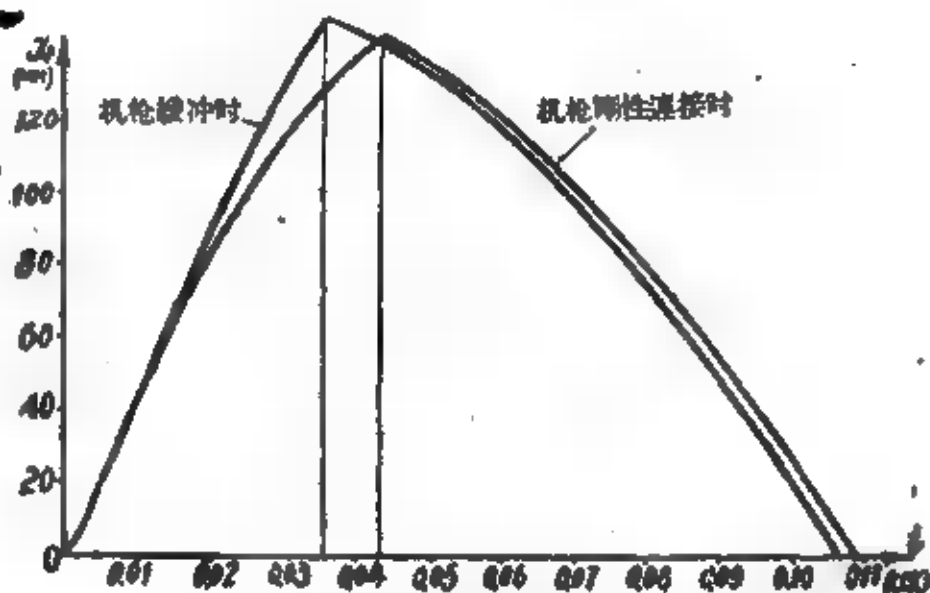


圖80 武器剛性連接和緩沖時 $x_p = f(t)$ 的圖解。

§2 槍機后座自動機的計算 (MG-42)

MG-42機槍(圖81)的自動機是以槍管短后座原理工作的。

槍機的閉鎖是利用閉鎖卡鐵(滑輪)實現的。击發機構是借复进簧而工作的。發射機構只能進行連發。

機槍的供彈是利用容量為50發的金屬彈鏈而進行的。彈鏈可

利用槍彈彼此連接起來。

彈鏈供彈機構是滑板式的。供彈時，彈丸由彈鏈直接送入彈腔。

MG-42 機槍的各機構工作特點是：槍機加速機構與槍機的開鎖同時開始工作並且供彈在槍機兩次行程（向后和向前）內完成。



圖81 MG-42 機槍縱剖面圖。

計算 MG-42 機槍的自動機時應該計算三個主要機構的工作：槍機體加速機構，機頭加速機構和彈鏈供彈機構。

槍機體加速機構工作時槍管是基本構件，而槍機體是工作構件。

機頭加速機構工作時槍管是基本構件，而機頭是工作構件。

機 槍 的 部 件 和 各 部 分	重 量 Q	質 量 M $z\text{-cm}^2/m$
槍管（連同槍尾和套筒）	1825	186
機體（連同推杆，鎖體和齒針）	315	32.1
機頭（連同退壳鏈）	212	21.6
槍機復進簧	81	8.2
槍管復進簧（連同導杆）	150	15.3
彈鏈供彈機構的大撥彈滑板和小撥彈滑板	40	4.1
機槍（不帶腳架）	10600	1080
機槍定向滑板	1200	122
緩冲器彈簧	180	18.3
彈壳	11	1.1
槍彈	26	2.7

彈鏈供彈機構工作時槍機是基本構件，而受彈器（裝有槍彈）
 ■撥彈滑板是工作構件。

上頁表中列出自動機主要部件的重量和質量。

下面取這些部件相對於機匣機匣的座標作為槍管和槍機的座標。座標原點要選擇得使槍管和槍機運動開始時它們的座標等於零。這樣選擇座標原點時槍機和槍管的座標代表這些部件的相對位移。

1. 傳速比的確定

槍機加速機構

MG-42機槍槍機體（圖82）加速的方法如下：在後座作用下機頭與槍管一道向後運動。此時由於機匣定形板的作用閉鎖滑輪

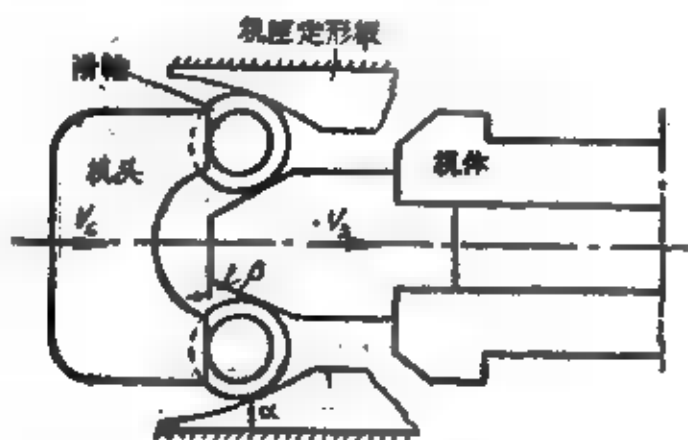


圖82 槍機體加速機構圖。

逐漸拼攏并由滑輪的閉鎖突緣的作用而向後推動槍機體的楔鐵，從而加速了槍機體的運動。

利用加速機構圖和極速度圖（圖83），可以確定求傳速比的

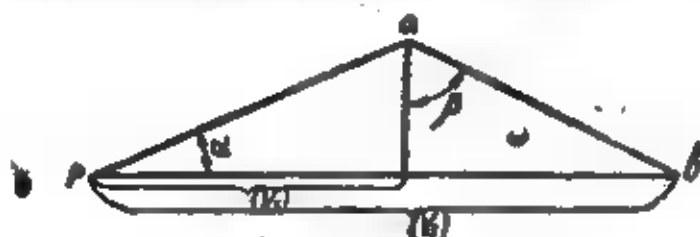


圖83 極速度圖。

公式，也就是求槍機體速度与槍管速度之比的公式：

$$k_0 = \frac{V_0}{V_0} = \frac{V_0 + V_0 \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta}{V_0} = 1 + \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta \quad (1)$$

繪制極速度圖沒轉動速度向量。

在 MG-42 機槍中機體機匣的定形板的工作断面是半徑為 R 的圓弧(圖84)。

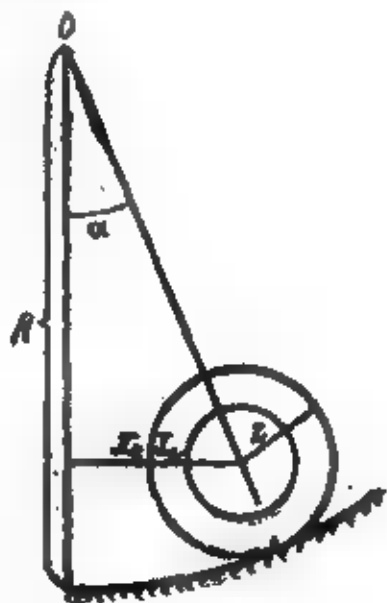


圖84 定形板的断面。

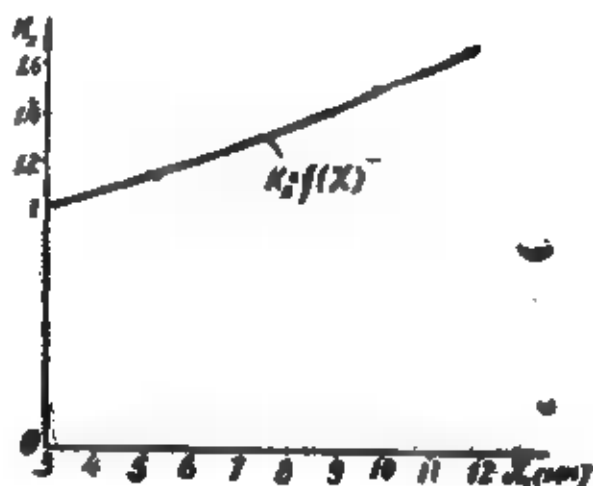


圖85 $k_0 = f(x)$ 的圖解。

利用圖84，可以寫出如下的公式：

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{x_0 - x_{01}}{\sqrt{(R - r)^2 - (x_0 - x_{01})^2}} \quad (2)$$

式中

x_0 ——槍管座標；

x_{01} ——槍機體加速機構開始工作時槍管的座標。

利用公式(1)和(2)，可以建立下一關係式

$$k_0 = f(x_0)。$$

將數值 ($R = 25 \text{ mm}$, $r = 7.5 \text{ mm}$, $x_{01} = 3 \text{ mm}$; $\beta = 50^\circ$) 代入公式(1)和(2)中，則得下表(見下頁)。

圖85所示的是根據此表而繪制的 $k_0 = f(x_0)$ 圖解。

x_0, mm	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
k_0	1	1.06	1.14	1.21	1.28	1.35	1.43	1.52	1.51	1.71
$\text{tg } \alpha$	0	0.057	0.115	0.173	0.235	0.298	0.365	0.438	0.516	0.60

机头加速机构

机头在枪机体加速后开始加速，即当闭锁滑轮与机头槽口的定向面接触时加速其运动。

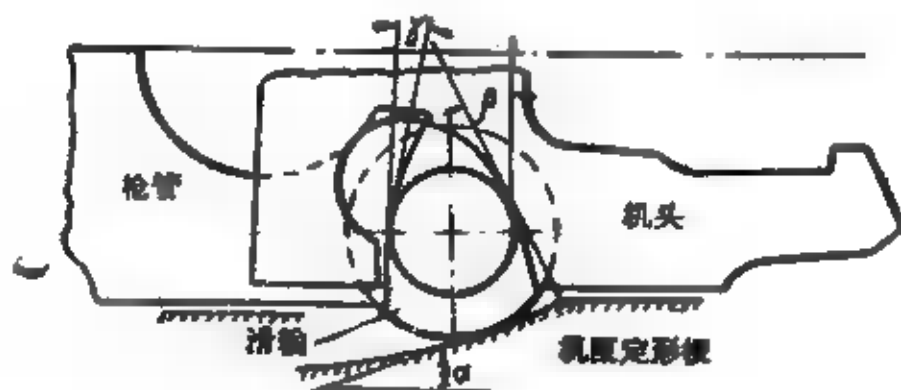


图86 机头加速机构原理图。

该机构的工作原理图示于图86，由图中看到，当机头加速机构开始工作时闭锁滑轮的突缘沿机匣的定形板的定形槽滑动，而滑轮沿枪管和机头的定形面滑动。

如果用理论断面来代替枪管、机头和机匣板工作面（将它们移至滑轮中心），则所研究的机构略图可以如图87所示的那样来表示。

传动比，即机头速度与枪管速度之比，在该种情况下利用对各机构构件不同位置作数个极速度图来求得是方便的。

图88所示的是所研究的机构的极速度图的作图原理，图中已将速度向量沿顺时针的方向转 90° 。

图89所示的是机构构件各不同位置的极速度图的作图。

根据速度图作图而求得的传动比，以图90上 $k_x = f(x_0)$ 的图解表示之。



图87 简化图。

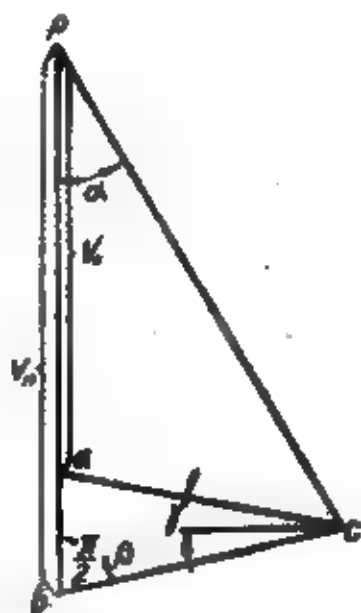


图88 恒速度图。

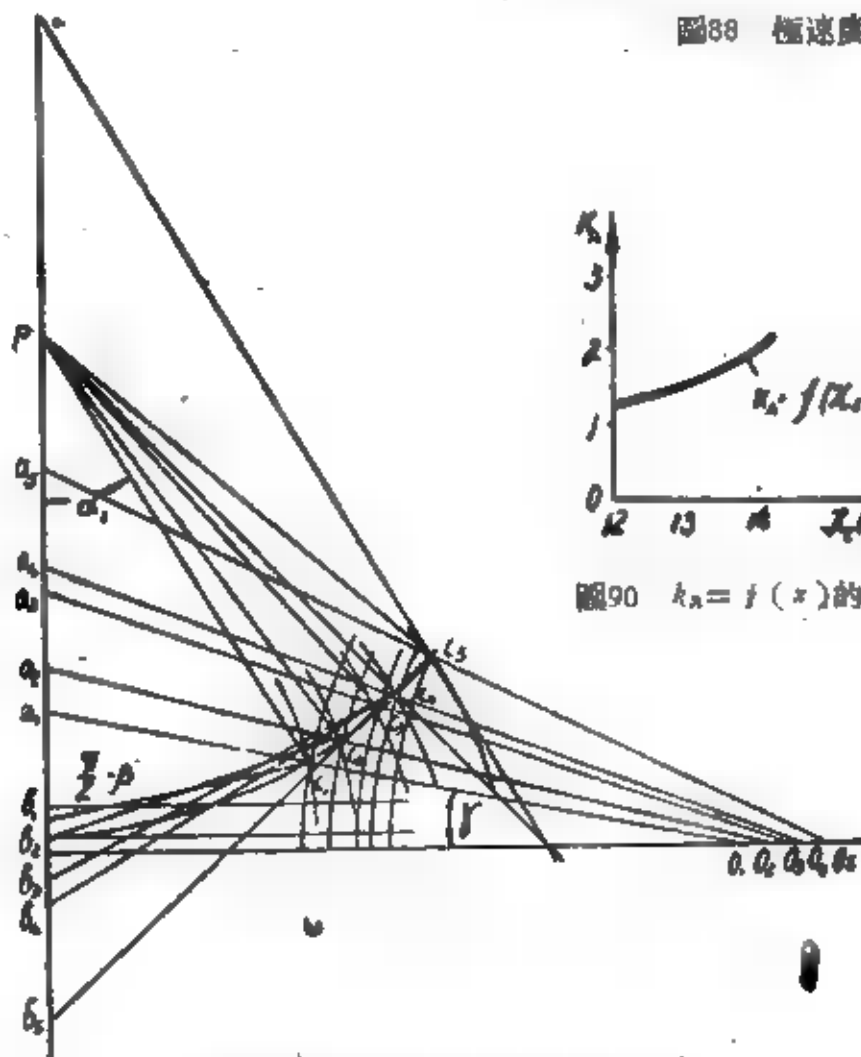
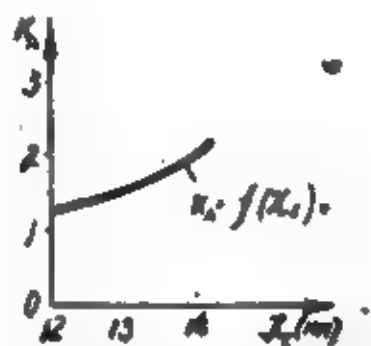


图89 机构各构件的恒速度图。

图90 $k_n = f(x_n)$ 的图解。

彈鏈供彈機構

MG-42機槍彈鏈供彈機構(圖91)是凸輪機構和杠杆連杆機構的結合體。該機構的工作如下。

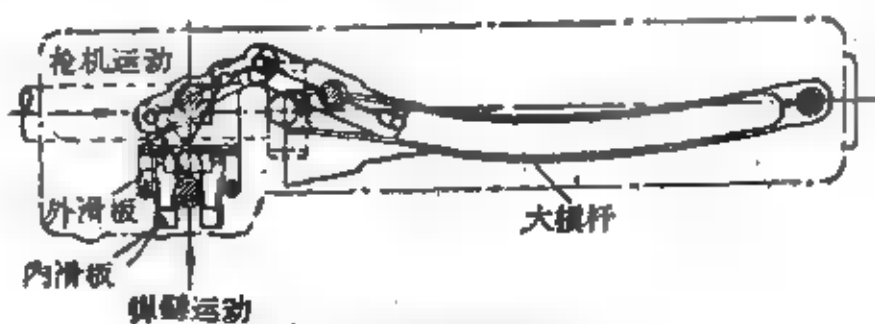


圖91 彈鏈供彈機構圖。

當槍機運動時其滑輪位於大杠杆的曲綫槽內并使此杠杆繞軸轉動。大杠杆借杠杆系統與兩個受彈器撥彈滑板連接并使它們運動。當槍機向後移動時，外撥彈滑板供彈，內撥彈滑板空轉。槍機向前移動時，內撥彈滑板供彈，而外撥彈滑板空轉。



圖92 凸輪機構。

彈鏈供彈機構工作時彈鏈上的下一發槍彈首先被內撥彈滑板的撥彈齒抓住，然後被外撥彈滑板的彈齒抓住。

考慮內撥彈滑板的複雜運動，在計算傳速比時將取某些中間點 g 和 e 的速度(圖93)。

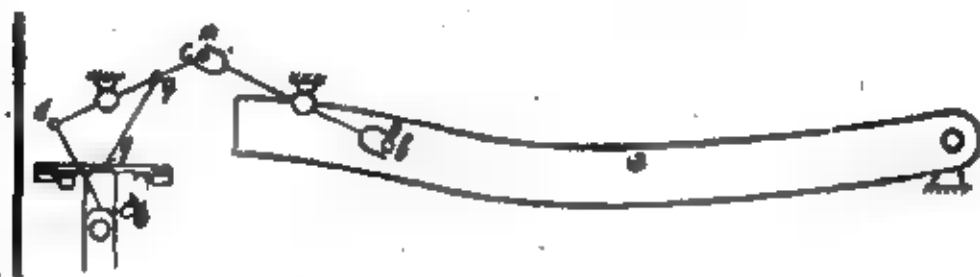


圖93 杠杆連杆機構。

为了求出由撥彈滑板上的点 g 和 n 到槍机的傳速比，假設將 MG-42 機槍彈鏈供彈機構分為兩個機構：凸輪機構(圖 92)和杠桿連杆機構(圖 93)。機構(圖 92)屬於Ⅱ類第三型的凸輪機構[●]。該機構的凸輪理論圖面是由兩個圓弧構成的(圖 94)。



圖 94 凸輪理論斷面。

該機構的傳速比，即計算機構在各不同位置時點 b 速度與槍機速度之比的計算示於圖 95 和 96 中。

杠桿連杆機構的傳速比(圖 91)，亦即點 g 和點 e 的速度與點 b 的速度之比是借助對點 b 在各不同位置時作若干極速度圖的方法來確定的。

■ 97 和 98 所示的是槍機向後運動(至 k_n 的最大值)時該機構的兩個位置的極速度圖(此時撥彈滑板內齒工作)和槍機向前運動時(至 k_n 的最大值)機構的三個位置的極速度圖(此時撥彈滑板外齒工作)。

在極速度圖上向量： $pb; pn; pm; pq; pd; pc; pg; pe$ 表示機構各點： b, n, m, q, d, c, g, e 的絕對速度(極速度圖上的向量沿逆時針方向轉動 90°)。

點 g 和 e 與點 b 的傳速比以下一比例確定之：

$$k_n^g = -\frac{\overline{pg}}{\overline{pb}}$$

$$k_n^e = -\frac{\overline{pe}}{\overline{pb}},$$

● 參看本書上冊原文第 229 頁。

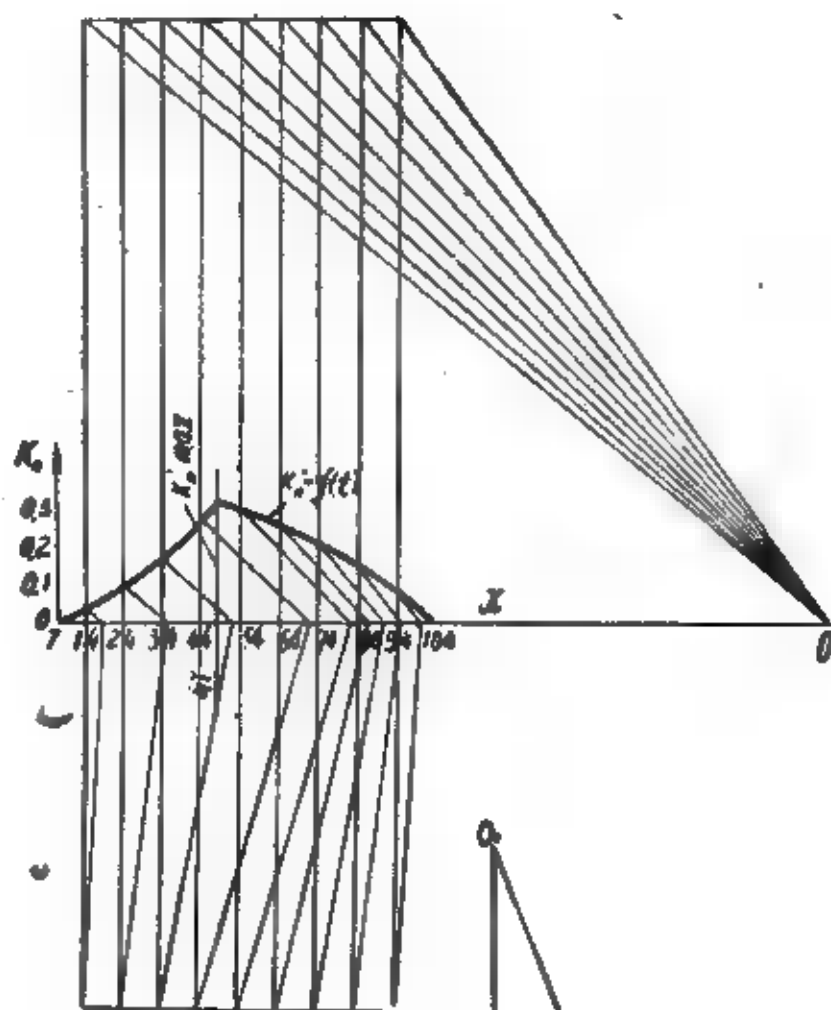


圖95 傳速比的確定。

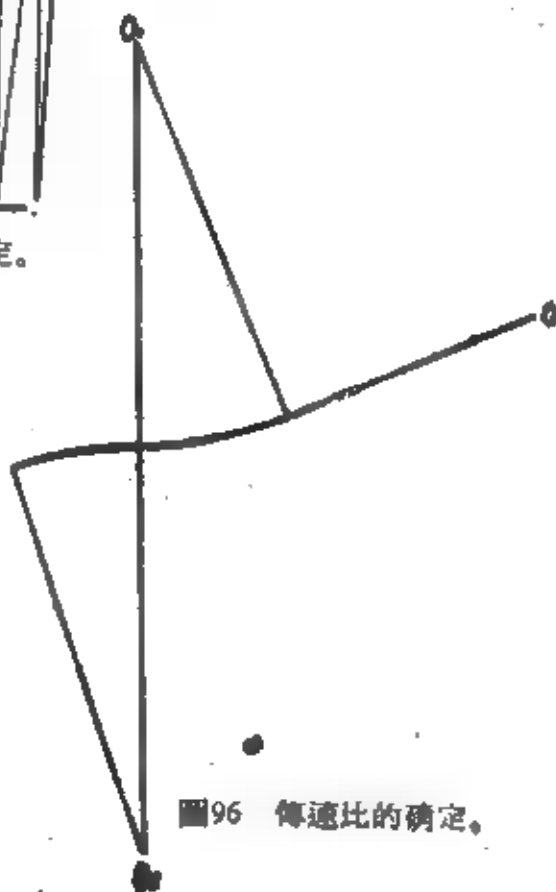


圖96 傳速比的確定。

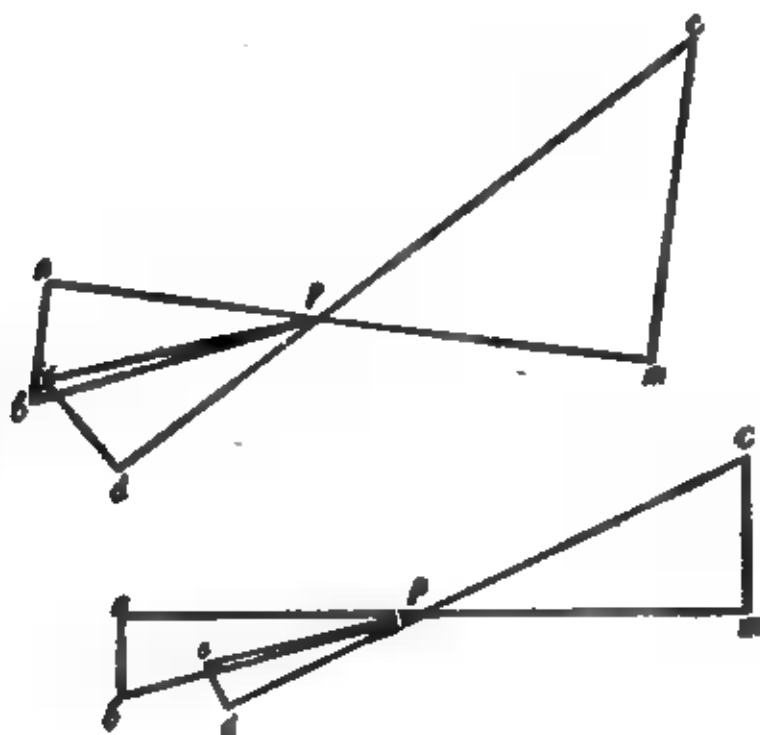


圖97 極速度圖。

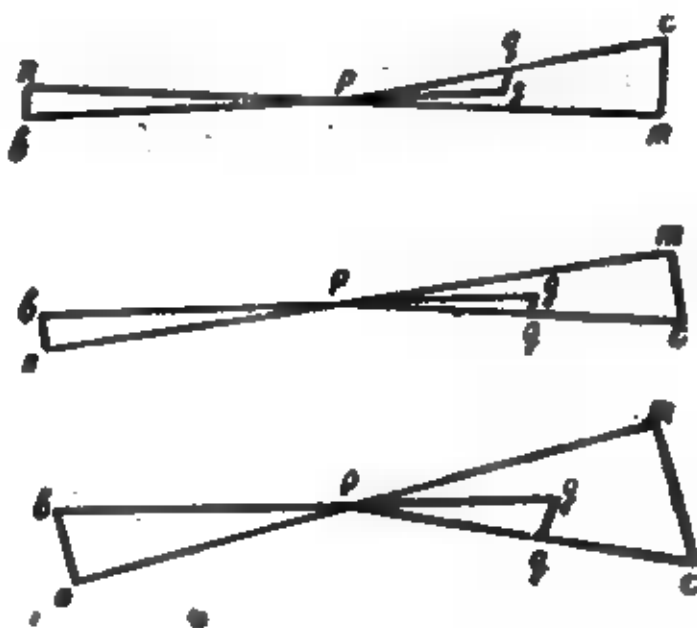
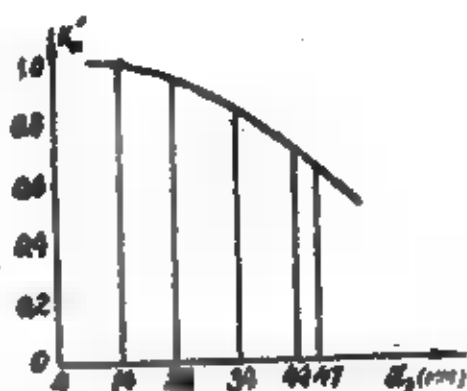
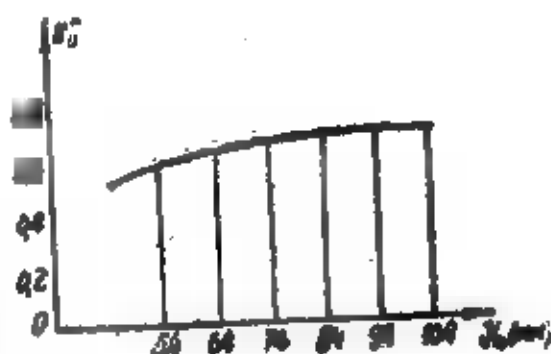
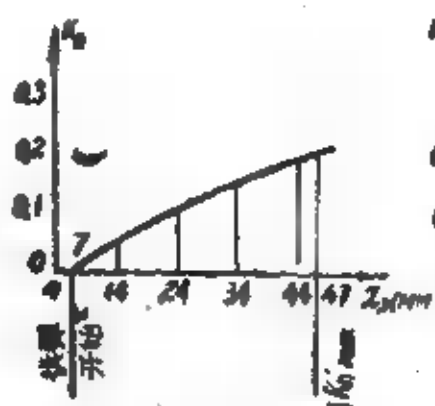
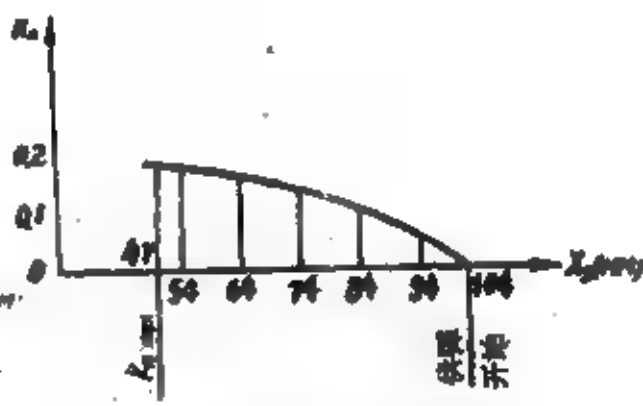


圖98 極速度圖。

圖99 $k'_n = f(x)$ 圖解。圖100 $k''_n = f(x)$ 圖解。圖101 $k_n = f(x)$ 圖解。圖102 $k_n = f(x)$ 圖解。

式中

\overline{pg} 和 \overline{pe} ——表示點 g 和 e 絕對速度的向量在彈鏈運動方向上的投影；

\overline{pb} ——表示點 b 絕對速度的向量。

圖99和100所示的是根據對槍機在各不同位置時的許多極速度圖作圖而求出的圖解 $k'_n = f(x_0)$ 。圖解(圖99) $k'_n = f(x_0)$ 與彈鏈供彈機構撥彈滑板加速期槍機向後的運動相對應(至 k_n 最大值)，而圖解 $k''_n = f(x_0)$ (圖100)與彈鏈供彈機構撥彈滑板加速期槍機向前的運動相對應(至 k_n 最大值)。

圖101和102所示的是表示槍機向後和向前運動時彈鏈供彈機構總傳速比 $k_n = k'_n k''_n$ 改變量的圖解。

2. 槍机构效率的計算

槍机体加速机构

計算槍机体加速机构工作时产生的摩擦力具有某些特点，这些特点是由于該机构工作时 槍机 进行 开锁 而确定的。因此，在机构各构件上不仅作用着由于加速机构工作而引起的 约束反作用力，而且还作用着 由于 火藥 气体压力作用而引起的约束反作用力。

圖 103 是槍机体加速机构原理圖并附有以相应的反作用力代替约束之后作用于該机构的各个构件上的力和约束反作用力的作用圖。

在圖 103 上引用下列符号：

R'_A ——由机头方面作用于约束上的损耗力；

R'_B ——由槍机体方面作用于约束上的损耗力；

W ——由机头方面作用于一个滑輪上的火藥气体压力；

Q ——一个滑輪作用于槍管突出部上的力；

R 和 N ——约束反作用力；

f ——摩擦系数。

假設，机构工作时滑輪不轉动，滑輪的質量忽略不計并且把机头質量加于槍管質量中，便可以写出机构各构件的平衡方程式如下：

对于槍管和机头来講，

$$\Sigma X = -\frac{1}{2}R'_A - W + Q = 0。 \quad (3)$$

对于槍机体来講，

$$\Sigma X = R(\cos \beta - f \sin \beta) - \frac{1}{2}R'_B = 0。 \quad (4)$$

对于一个滑輪来講，

$$\begin{aligned} \Sigma X = W - Q - N(\sin \alpha + f \cos \alpha) - R \\ (\cos \beta - f \sin \beta) = 0, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\Sigma Y = N(\cos \alpha - f \sin \alpha) - fW - fQ - \square (\sin \beta - f \cos \beta) = 0。 \quad (6)$$

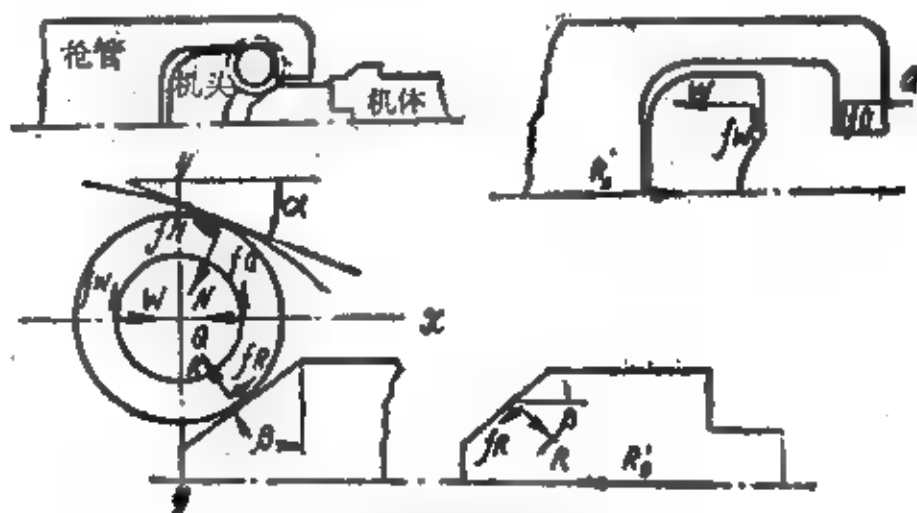


圖103 槍機體加速機構圖。

这四个方程式使我們有可能消去約束反作用力 R_1 , N 和力 Q , 然后得出 $\frac{R'_A}{R_A}$ 之比。

从方程式(3), (4), (5), (6)求出

$$\frac{1}{2}R'_A - N(\sin \alpha + f \cos \alpha) - \square(\cos \beta - f \sin \beta) = 0, \quad (7)$$

$$N(1 + f^2)\cos \alpha - R(1 + f^2)\sin \beta - 2fW = 0。 \quad (8)$$

方程式(7)和(8)使我們有可能消去反作用力 N

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}R'_A = & \left[\frac{\sin \beta}{\cos \alpha}(\sin \alpha + f \cos \alpha) + \cos \beta - f \sin \beta \right] R \\ & + 2fW \frac{\sin \alpha + f \cos \alpha}{(1 + f^2)\cos \alpha}。 \end{aligned} \quad (9)$$

对于所討論的MG-42机枪的机构来講, 在允許的精度內可以取 $1 + f^2 \approx 1$ 。

采用此假設时, 公式(9)的形式如下

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}R'_A = & R[(\operatorname{tg} \alpha + f)\sin \beta + \cos \beta - f \sin \beta] \\ & + 2fW(\operatorname{tg} \alpha + f)。 \end{aligned} \quad (10)$$

将 $2fW(\operatorname{tg} \alpha + f)$ 一項移于左边并引入符号 $R''_A = R'_A - 4fW(\operatorname{tg} \alpha + f)$, 則得:

$$\frac{1}{2} R_A' = R (\operatorname{tg} \alpha \sin \beta + \cos \beta)。(11)$$

如果現在对 R_B' 解方程式(4)并以方程式(11)除之, 則得

$$\frac{R_B}{R_A'} = \frac{1 - f \operatorname{tg} \beta}{1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta}。(12)$$

因而, 求效率的公式将有如下的形式

$$\eta_c = \frac{R_B}{R_A'} k = \frac{1 - f \operatorname{tg} \beta}{1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta} k = \frac{1 - f \operatorname{tg} \beta}{1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta} (1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta) (13)$$

$$\eta_c = 1 - f \operatorname{tg} \beta。$$

求效率的这一公式只考虑到由于机构加速机构工作而产生的摩擦力。由于力 W 的作用而产生的摩擦力考虑在力 R_A' 所含的项 $4fW(\operatorname{tg} \alpha + f)$ 中,

$$R_A' = R_A' - 4fW(\operatorname{tg} \alpha + f)。$$

将弹壳抽壳力和机头质量(与枪管质量相比较时)忽略不计, 对于力 W 来講, 可以写出下列公式:

$$W = \frac{1}{2} p s,$$

式中 s ——弹壳底的断面面积;

p ——膛底上的火藥气体压力。

因而, 当滑轮在机头上的火藥气体压力作用下拼摆时所产生的摩擦力可以单独用下面的阻力来加以考虑:

$$2 f p s (\operatorname{tg} \alpha + f)。(14)$$

将数值代入公式(13)中, 則得效率值

$$\eta_c = 1 - f \operatorname{tg} \beta = 0.88。$$

机头加速机构

机头加速机构在枪机开锁后工作。該机构开始工作时在机头和枪管上仍作用着膛内火藥气体压力。此外, 还有抽壳时产生的力。这两个力以相反的方向作用于枪管和机头上。試驗証明, 它們对枪管和机头的运动的影响是很小的。这些力的改变性質和大小难以准确計算, 因为它們取决于許多不同的因素。其中不少因素是偶然因素(弹壳与膛壁的摩擦力、部分火藥气体由膛底与弹

壳壁間逸出、彈壳壁与彈腔之間的原有間隙等)。所有这些都是在对机头加速机构作理論研究时不考虑腔压的理由。

計算机头加速机构的效率时，我們假設，滑輪不轉动。此时基本构件处于一状态时机头加速机构圖（圖 86）可如圖 104 所示。

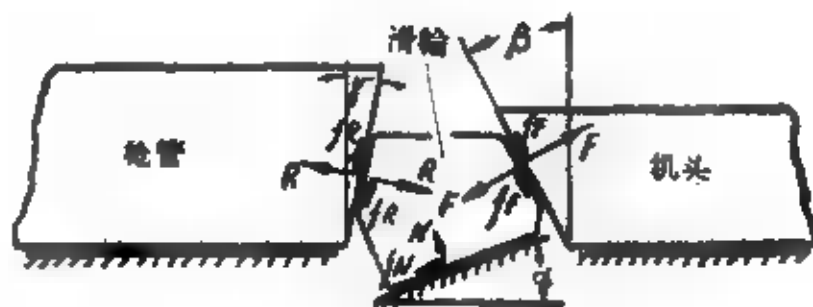


圖104 机头加速机构示意图。

用相应的反作用力来代替約束并在槍管和机头上加上相应的損耗力 R'_c 和 R'_a ，便可以認為，該机构的部件处于平衡状态（圖 105）。

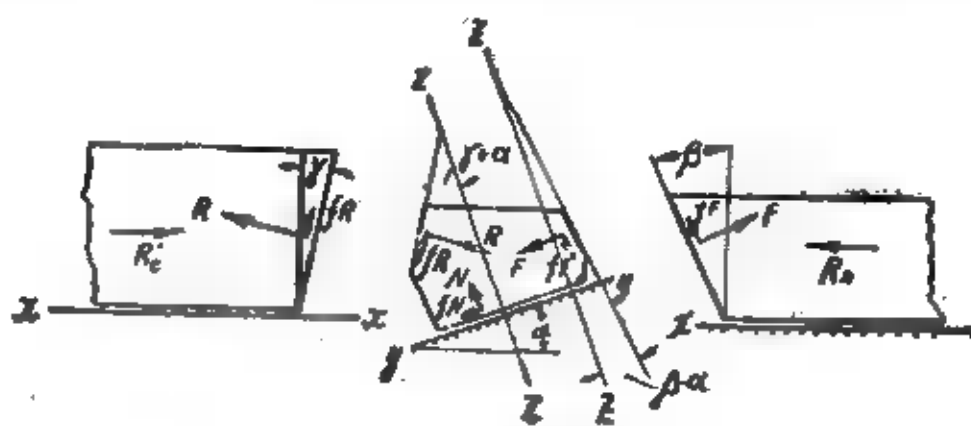


圖105 力的作用圖。

用分析的方法，平衡條件表示如下：

对于槍管來講，

$$\sum X = R'_c - R(\cos \gamma - f \sin \gamma) = 0。$$

对于机头來講，

$$\sum X = -R'_a + F(\cos \beta - f \sin \beta) = 0。$$

对于滑輪来講，

$$\sum Y = R[\cos(\gamma + \alpha) - f \sin(\gamma + \alpha)] - F[\cos(\beta - \alpha) - f \sin(\beta - \alpha)] - fN = 0,$$

$$\sum Z = N - R[\sin(\gamma + \alpha) + f \cos(\gamma + \alpha)] - F[\sin(\beta - \alpha) + f \cos(\beta - \alpha)] = 0.$$

由后两方程式得出

$$\frac{F}{R} = \frac{(1-f^2)\cos(\gamma + \alpha) - 2f \sin(\gamma + \alpha)}{(1-f^2)\cos(\beta - \alpha)}.$$

因而，

$$\eta_x = \frac{k'_x}{k'_0} k_x = \frac{(\cos \beta - f \sin \beta)[(1-f^2)\cos(\gamma + \alpha) - 2f \sin(\gamma + \alpha)]}{(\cos \gamma - f \sin \gamma)(1-f^2)\cos(\beta - \alpha)} k_{x0}.$$

利用極速度圖(圖88)可以求出傳速比 k_x 的公式:

$$k_x = \frac{v_x}{v_0} = \frac{\cos \gamma \cos(\beta - \alpha)}{\cos(\gamma + \alpha) \cos \beta}.$$

將 k_x 的公式代入 η_x 的公式中，則得

$$\eta_x = \frac{(1-f \tan \beta)(1-f^2-2f \tan(\alpha + \gamma))}{(1-f^2)(1-f \tan \gamma)}. \quad (15)$$

利用極速度圖(圖89)可以求出机构在各不同位置时所有的角度 α, β, γ 。

圖 106 所示是根据公式(15)計算而得出的圖解关系 $\eta_x = f(x_0)$ 和 $\eta_{ep} = f(x_0)$ 的計算。机头加速結束时 $\eta_{ep} = 0.7$ 。

彈鏈供彈机构

确定彈鏈供彈机构的效率时，我們將該机构分成两个机构：凸輪机构和杠杆連杆机构。

对于所討論的第二类第三型凸輪机构来講，可以根据下一公式求出效率

$$\eta_x = \frac{1-fk}{k+2f} k,$$

式中

$$k = k'_x \frac{rR}{r_0}.$$

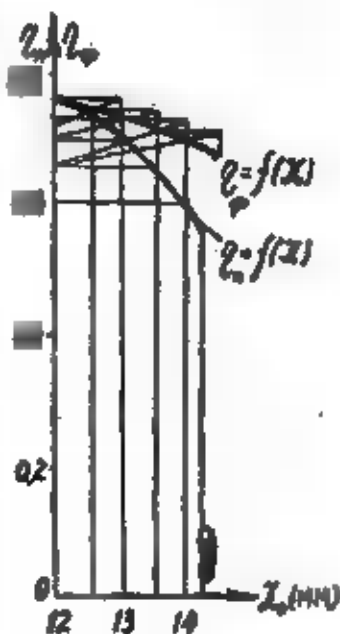


圖106 $\eta_x = f(x_0)$ 圖解。

半徑之比 $\frac{r_B}{r_0}$ 或 k 值可以根据圖解求出(圖95)。

由于轉動對的存在和滑輪的应用，杠杆連杆机构的效率应接近于1。为了进一步計算該机构的效率起見，可以取

$$\eta_p = 0.9。$$

因而，整个彈鏈供彈机构的效率为

$$\eta_n = \eta_p \eta_{x_0}$$

η_n 值与 x_0 的函数关系以圖解表示(圖107和108)。

正如从圖解中所看到的，彈鏈供彈机构的效率变化很大。因此，为了計算简化質量，我們求圖关系式 $\eta_{cp} = f(x_0)$ 。

圖107和108分別表示在受彈器撥彈滑板加速至 k_0 最大值的期間

內，槍机向后和向前运动时，这一关系的圖解計算。

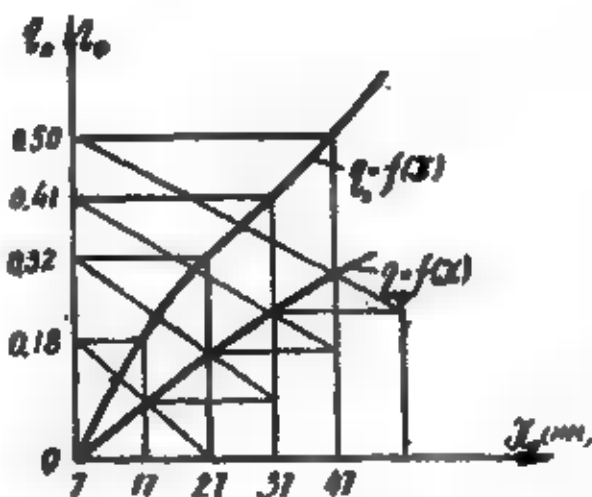


圖107 $\eta_{cp} = f(x)$ 和 $\eta_n = f(x)$ 圖解。

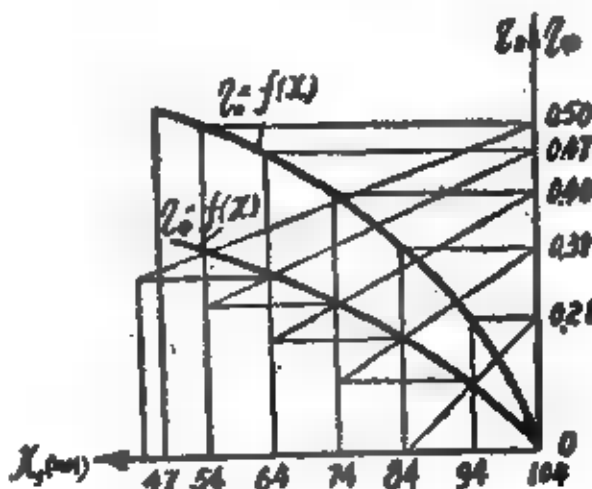


圖108 $\eta_{cp} = f(x)$ 和 $\eta_n = f(x)$ 圖解。

3. 简化質量的計算

我們根据下一公式求出简化質量

$$M_{up} = M_A + M_B \frac{k^2}{\eta_{cp}} \quad (16)$$

式中 M_A ——基本构件質量；

M_B ——工作构件質量；

k ——傳速比；

η_{cp} ——傳動效率平均值。

槍機體加速機構

對於槍機體加速機構來講，基本構件是帶機頭的槍管，而工作構件是槍機體。

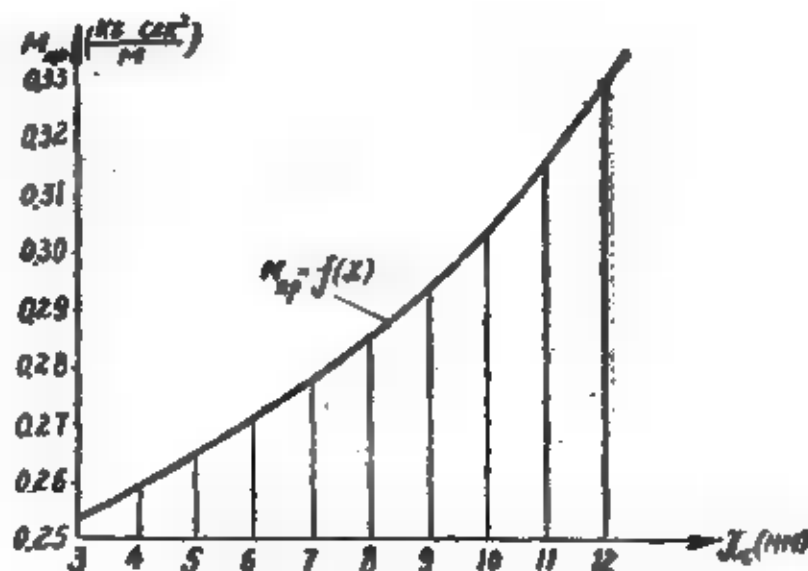


圖109 $M_{np} = f(x_c)$ 圖解。

基本構件的質量 $M_A = M_{cr} = 0.213 \text{ кг. см}^2/\text{м}$ ，工作構件的質量 $M_B = M_s = 0.0348 \text{ кг. см}^2/\text{м}$ 。效率 $\eta_s = 0.88$ 。傳速 k_s 比值列于圖 85 中。

圖 109 所示的是根據公式 (16) 計算而得出的 $M_{np} = f(x_c)$ 圖解。

機頭加速機構

對於機頭加速機構來講，基本構件是槍管，而工作構件是機頭。

基本構件的質量 $M_A = M_c = 0.191 \text{ кг. см}^2/\text{м}$ ，

工作構件的質量 $M_B = M_x = 0.0227 \text{ кг. см}^2/\text{м}$ 。

這里，工作構件的質量包括機頭質量和彈壳質量。

將質量以及 k_x 和 η_{cp} 值代入公式

$$M_{np} = M_c + M_x \frac{R_x^2}{\eta_{cp}}。$$

則得簡化質量值:

x_0 mm	12	13	14	14.2
M_{np} $kg \cdot sec^2/m$	0.240	0.282	0.328	0.376

彈鏈供彈機構

對於彈鏈供彈機構來講，向後運動時的基本構件是槍機體，而向前運動時基本構件是整個槍機（槍機體連同機頭）。

向後運動時這些零件的質量（復進簧的質量考慮在內）

$$M_A = M_0 = 0.0348 \text{ kg} \cdot \text{sec}^2/m;$$

向前運動時這些零件的質量（復進簧的質量考慮在內）

$$M_A = M_0 = 0.0592 \text{ kg} \cdot \text{sec}^2/m_0.$$

該機構的工作構件是受彈器撥彈滑板。因為受彈器撥彈滑板運動時與彈鏈（裝有槍彈）和供彈機構的杠杆相連接，所以計算工作構件的質量時應該考慮到這些元件。

用MG-42機槍射擊時帶彈的彈鏈裝在專用的箱中，此箱固定在機槍的受彈器上。

正如試驗證明，隨彈鏈供彈機構撥彈滑板一起移動的槍彈的數目隨着彈鏈在彈箱內的位置而改變，彈數介於5~10之間。由於彈鏈的運動有這樣的特点，因此只能夠近似地計算工作構件的質量。

根據上述我們假設，彈鏈供彈時彈鏈上有10發槍彈與撥彈滑板連接；彈鏈的彈性和供彈機構杠杆的質量不加考慮。

根據這一假設，供彈機構的工作構件質量是

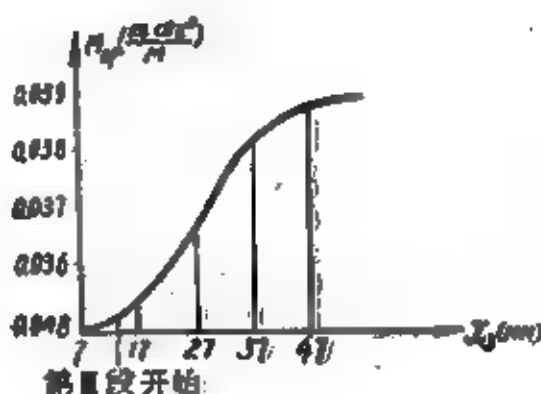


圖110 $M_{np} = f(x)$ 圖解。

$$M_B = M_n = 0.034 \text{ кг} \cdot \text{см}^2 / \text{м}.$$

考虑到受弹器横弹滑板与弹键的连接是单边的，故仅计算传递比 k_n 最大值之前的简化质量。

我们根据下一公式求出简化质量

$$M_{np} = M_n + M_n \frac{k_n^2}{\eta_{ep}}.$$

k_n 和 η_{ep} 之值取自图解(图 101; 102; 107; 108)。在图解(图 110 和 111)上表

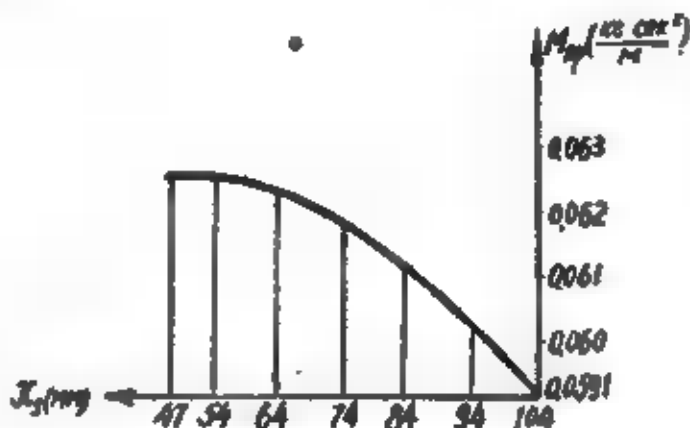


图111 $M_{np} = f(x)$ 图解。

示出达到最大传递比 k_n 值之前，枪机在各种不同的位置，向后退或向前运动时的简化质量。

4. 力的确定

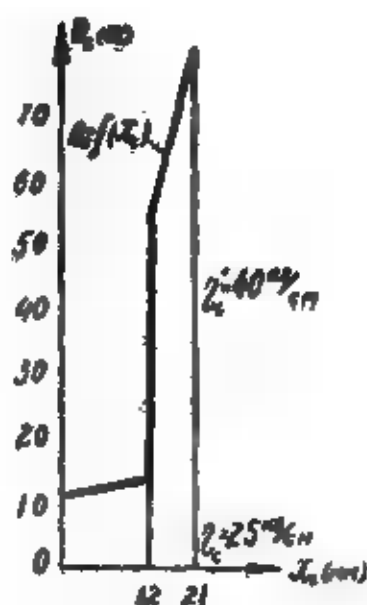
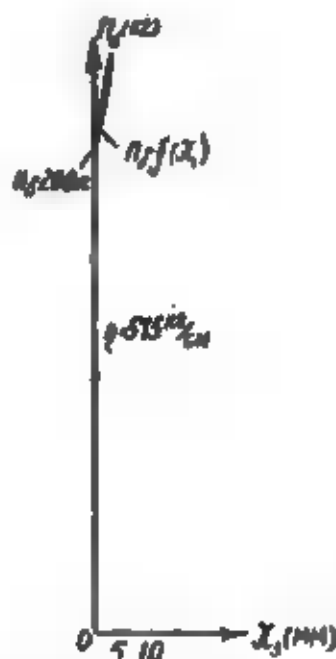
与基本构件的座标有关的力

与基本构件的座标有关的力是枪管复进簧和枪机复进簧的弹性力以及缓冲器簧的弹性力。



图112 $\Pi_0 = f(x_0)$ 图解。

说明图解关系 $\Pi_e = f(x_e)$; $\Pi_0 = f(x_0)$; $\Pi_s = f(x_s)$ 的这些弹簧图解示于图 112, 113, 114 中。枪管复进簧内力变化图解的特点是由于以下的原因决定的，这个弹簧是由四根单独的弹簧组成的(图 115)，这些弹簧先是依次工作，然后变成同时工作。

圖113 $p_n = f(x_n)$ 圖解。圖114 $p_n = f(x_n)$ 圖解。

串联弹簧的工作



并联弹簧的工作



圖115 槍管簧工作略圖。

与時間有关的力

与時間有关的力是膛內的火藥气体压力。

彈丸飞出槍膛前，膛內的火藥气体压力变化規律，我們不去研究它。因为在这个期間槍管和槍机的运动特征数可以作为制動后座元的諸元求出。

我們假設，在火藥气体后效期膛压的变化規律为：

$$p = p_n e^{-At} \quad \text{当} \quad A = 0.365 \frac{\beta^2}{\beta - 0.5} \frac{v_0}{L'} \quad (17)$$

$$\beta = 1.5 \frac{d}{v_0} \sqrt{\frac{p_n L' \rho}{\omega}}, \quad (18)$$

式中 p_n ——彈丸飞出瞬間的膛压 ($p_n = 770 \text{ kg/cm}^2$);

e ——自然对数的底;

t ——自火藥气体后效期开始时的气体作用时间;

d ——口徑 ($d = 7.92 \text{ mm}$);

L' ——彈丸在膛內的行程和藥室的簡化長度 ($L' = 543 \text{ mm}$);

ω ——裝藥重量 ($\omega = 2.75 \text{ g}$);

v_0 ——彈丸的初速 ($v_0 = 740 \text{ m/sec}$).

將數值代入公式(17)、(18)中, 則得

$$p = 770e^{-1320t}, \quad A = 1320 \text{ l/sec}.$$

使槍管和槍機运动的火藥气体压力是 $ps\mu$, 其中: μ ——槍口帽特征数 ($\mu = 2.5$); s ——槍膛横断面面积 ($s = 0.514 \text{ cm}^2$); p ——后效期火藥气体压力。 $P = ps\mu$ 的力的变化規律示于圖解中 (圖116)。

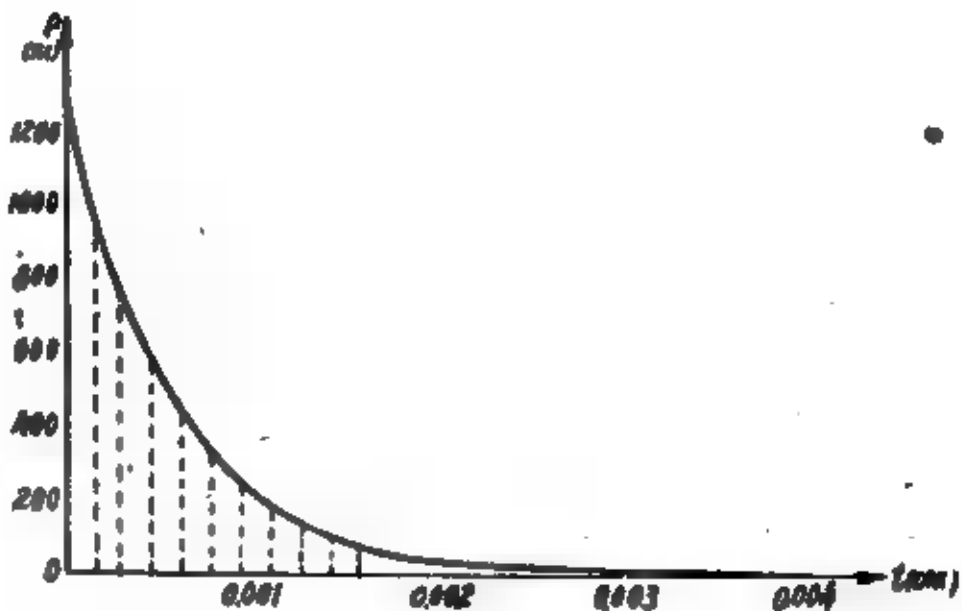


圖116 $P = f(t)$ 圖解。

5. 簡化力的計算

槍機体加速机构工作时

在膛內的火藥气体后效期, 槍機体加速机构工作。基本构件是槍管; 工作构件是槍機体。

在带有机头的枪管上作用有枪膛底上的和枪管前切面上的运动着的火药气体压力 ($P = p s \mu$)，因滑轮在火药气体压力作用下拼撞而产生的阻力 $2 f p s_1 (\operatorname{tg} \alpha + f)$ ，以及枪管复进簧的阻力 Π_c 。在枪机上作用有复进簧的阻力 Π_a 。

在枪机体加速机构工作期间内并考虑到在此期间 ■ 作用力时，基本构件的简化力的公式可以写成如下的形式：

$$Q_c = p s \mu \left[1 - \frac{2 f s_1}{\mu s} (\operatorname{tg} \alpha + f) \right] - \Pi_c - \Pi_a \frac{k_a}{\eta_s}, \quad (19)$$

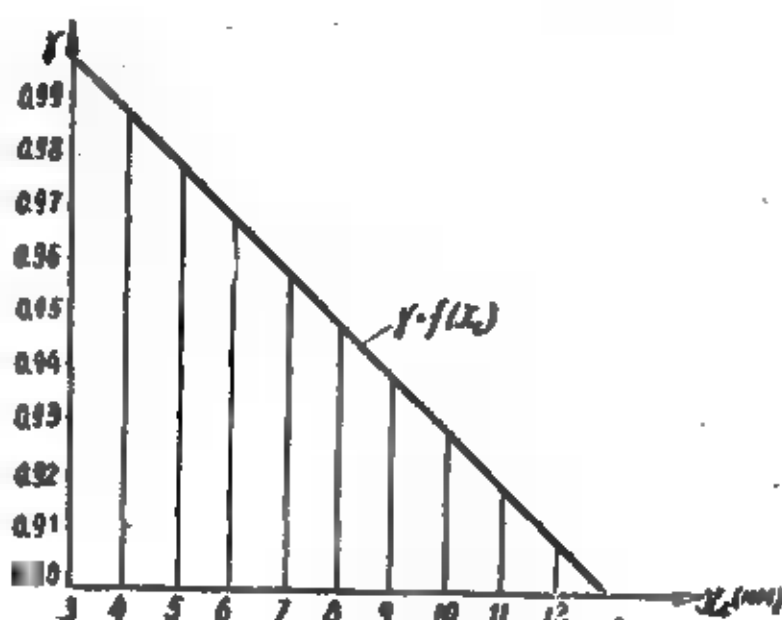


图117 $y = f(x_c)$ 图解。

- 式中 p —— 后效期火药气体压力 [$p = f(t)$];
 s —— 枪膛横断面面积 ($s = 0.514 \text{ cm}^2$);
 μ —— 考虑到枪口帽作用的系数 ($\mu = 2.5$);
 f —— 摩擦系数 ($f = 0.1$);
 s_1 —— 簧壳底的面积 ($s_1 = 0.96 \text{ cm}^2$);
 α —— 机匣板理论断面的倾角 $\alpha = f(x_c)$;
 Π_c —— 枪管弹簧的内力 $\Pi_c = f(x_c)$;
 Π_a —— 枪机复进簧的内力 $\Pi_a = f(x_a)$;
 k_a —— 传递比;

η_0 ——效率($\eta_0 = 0.88$)。

如果在公式(19)中引用下列符号

$$1 - \frac{2f_1}{\mu s}(\operatorname{tg} \alpha + f) = \gamma; \quad p s \mu = P; \quad \Pi_0 - \Pi_0 \frac{k_0}{\eta_0} = F,$$

则前式可写为下述形式:

$$Q_0 = P\gamma - F,$$

式中 $P = f(s); \quad \gamma = f(x_0); \quad F = f(x_0)$ 。

$P = f(s)$ 关系式前已列出 (圖 116)。关系式 $\gamma = f(x_0)$ 和 $F = f(x_0)$ 示于圖 117 和 118 中。

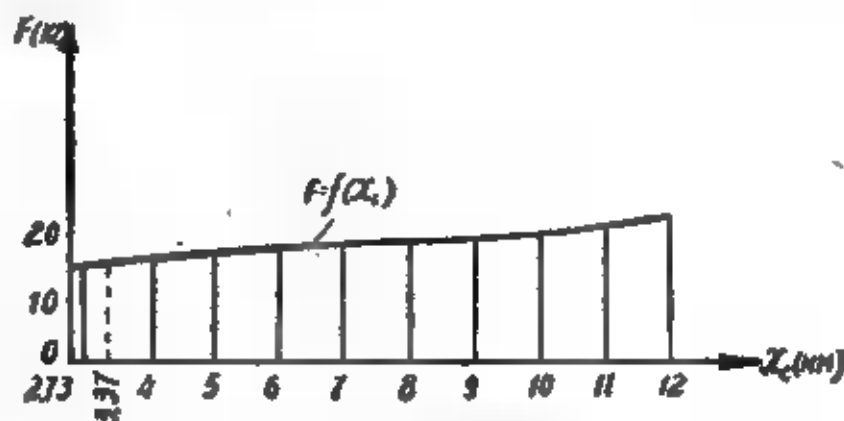


圖 118 $P = f(x_0)$ 圖解。

彈鏈供彈機構工作時

彈鏈供彈機構工作時基本構件是槍機，而工作構件是帶彈鏈的受彈器撥彈滑板。

槍機處在彈簧力 Π_0 作用下，■在受彈器撥彈滑板上作用有彈鏈進入受彈器時產生的阻力。根據試驗數據，■以設此阻力為常數并使 $\Pi = 1$ 公斤。

基本構件（槍機）的簡化力等于：
當槍機向後運動時

$$Q = -\Pi_0 - P \frac{k_0}{\eta_0};$$

■槍機向前運動時

$$Q = \Pi_0 - R \frac{k_0}{\eta_0}.$$

Π_0 , k_0 , η_0 的值是已知的 (圖 101; 102; 107; 108; 112)。將

数值代入后一公式中，则得枪机向后运动和向前运动时弹键供弹机构工作期间的关系式 $Q = f(x_0)$ 。关系式 $Q = f(x_0)$ 的图解示于图 119 和 120。

图 121 和 122 所示的图解表示质量和力随机构的基本构件座标的变化。在这些图解上标出了主要计算段。

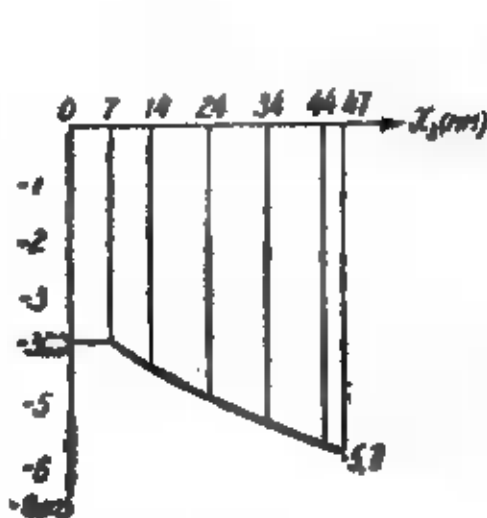


图119 $Q = f(x)$ 图解。

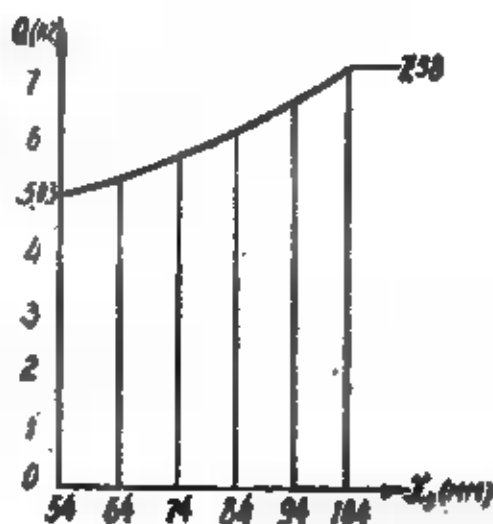


图120 $Q = f(x)$ 图解。

6. 武器刚连接时自动机的计算

自动机的计算按照质量和力的变化图解上所指出的各段来进行。

第1段 ($x_0 = 0 \sim 2.68 \text{ mm}$)

在此运动段上基本构件的质量（枪管的质量） $M_0 = 0.254 \text{ kg}$ 。枪管在取决于时间的力（膛内火药气体压力）和取决于座标的力（枪管复进簧和枪机复进簧的弹性力）的作用下移动。

此运动段上力的作用特点是与基本构件座标有关的力比膛内火药气体压力小得多。

这可以在研究了自由后座时的运动之后应用近似的方法来考虑与基本构件座标有关的力。然后再对此力的计算进行修正。

弹丸飞出膛隙瞬间枪管的速度和位移根据下列公式求出：



圖122 質量和力的变化圖解。

$$V_0 = \frac{q + 0.5\omega}{Q_0} v_0, \quad x_0 = \frac{V_0}{v_0} L_0$$

式中 q ——彈丸重量 ($q = 12.8 \text{ 磅}$);

ω ——裝藥重量 ($\omega = 2.75 \text{ 磅}$);

Q_0 ——活動部分重量 ($Q_0 = 2480 \text{ 磅}$);

v_0 ——彈丸初速 ($v_0 = 740 \text{ 米/秒}$);

L ——彈丸在膛內的行程 ($L = 478 \text{ 毫米}$)。

將數值代入這些公式中，則得

$$v_0 = 4.24 \text{ 米/秒}, \quad x_0 = 2.73 \text{ 毫米}。$$

根據內彈道學問題的解法求出彈丸在膛內的運動時間 ($t_0 = 0.00136 \text{ 秒}$) 和彈丸飛出瞬間膛內的火藥氣體壓力 ($p_n = 770 \text{ 公斤/厘米}^2$)。

計算阻力時的修正量 (對速度和位移之修正量) 根據下列公式求出:

$$\Delta V_0 = \frac{R t_0}{M_0}, \quad \Delta x_0 = \Delta V_0 \frac{t_0}{2},$$

式中 R ——在所研究的運動段上的平均制動力 ($R = 14.4 \text{ 公斤}$);

M_0 ——活動部分質量 ($M_0 = 0.254 \text{ 公斤·厘米}^2/\text{米}$)。

將數值代入，則得

$$\Delta V_0 = 0.077 \text{ 米/秒}, \quad \Delta x_0 = 0.053 \text{ 毫米}。$$

考慮修正量的槍管速度和位移等於

$$\bar{V}_0 = V_0 - \Delta V_0 = 4.16 \text{ 米/秒},$$

$$\bar{x}_0 = x_0 - \Delta x_0 = 2.68 \text{ 毫米}。$$

因而，第一運動段結束時:

$$x_{01} = 2.68 \text{ 毫米}; \quad V_{01} = 4.16 \text{ 米/秒}; \quad t = 0.00136 \text{ 秒}。$$

第2段 ($x_0 = 2.68 \sim 12 \text{ 毫米}$)

在此運動段上簡化質量是變化的 (槍機體加速機構開始工作)。在基本構件 (槍管) 上作用有隨時間變化的力 (火藥氣體壓力) 和隨其座標變化的力 (復進簧彈性力)。後一力在一段的起點比火藥氣體壓力小得多。但是，在所研究的運動段的終止這兩個力幾乎相等。

表示基本构件在此运动段运动的微分方程式可表示如下

$$\frac{dV_c}{dx_c} = \frac{PY - P}{V_c M_{np}} - \frac{1}{2} V_c \frac{dM_{np}}{dx_c M_{np}}, \quad (20)$$

式中

M_{np} ——简化质量，其变化如 $M_{np} = f(x_c)$ 图解所示(圖109)；

P ——仅与时间有关的力(考虑到槍口装置作用的膛底火藥气体压力)。該力的变化規律示于圖解中(圖116)；

γ ——槍机开锁时所产生的摩擦力的系数；該系数的变化規律示于圖解中(圖117)；

P ——仅与座标 x_c 有关的简化力；該力的变化規律示于圖解中(圖118)；

V_c ——基本构件速度 $V_c = \dot{x}_c$ 。

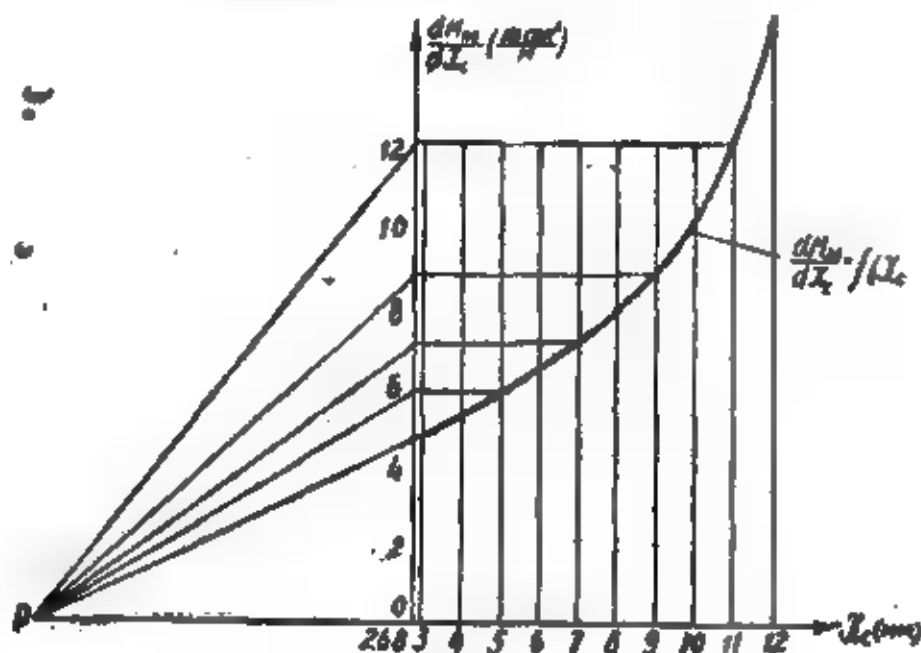


圖123 $\frac{dM_{np}}{dx_c} = f(x_c)$ 图解。

我們利用圖解解析法解此微分方程式。

我們選擇座标 x_c 作为自变量并对 x_c 的下列各值进行积分：

$x_c = 2.6$ mm； $x_c = 4$ mm； $x_c = 6$ mm； $x_c = 8$ mm； $x_c = 10$ mm；
 $x_c = 12$ mm。

速度初值 $V_c = \dot{x} = 4.16$ m/sec。

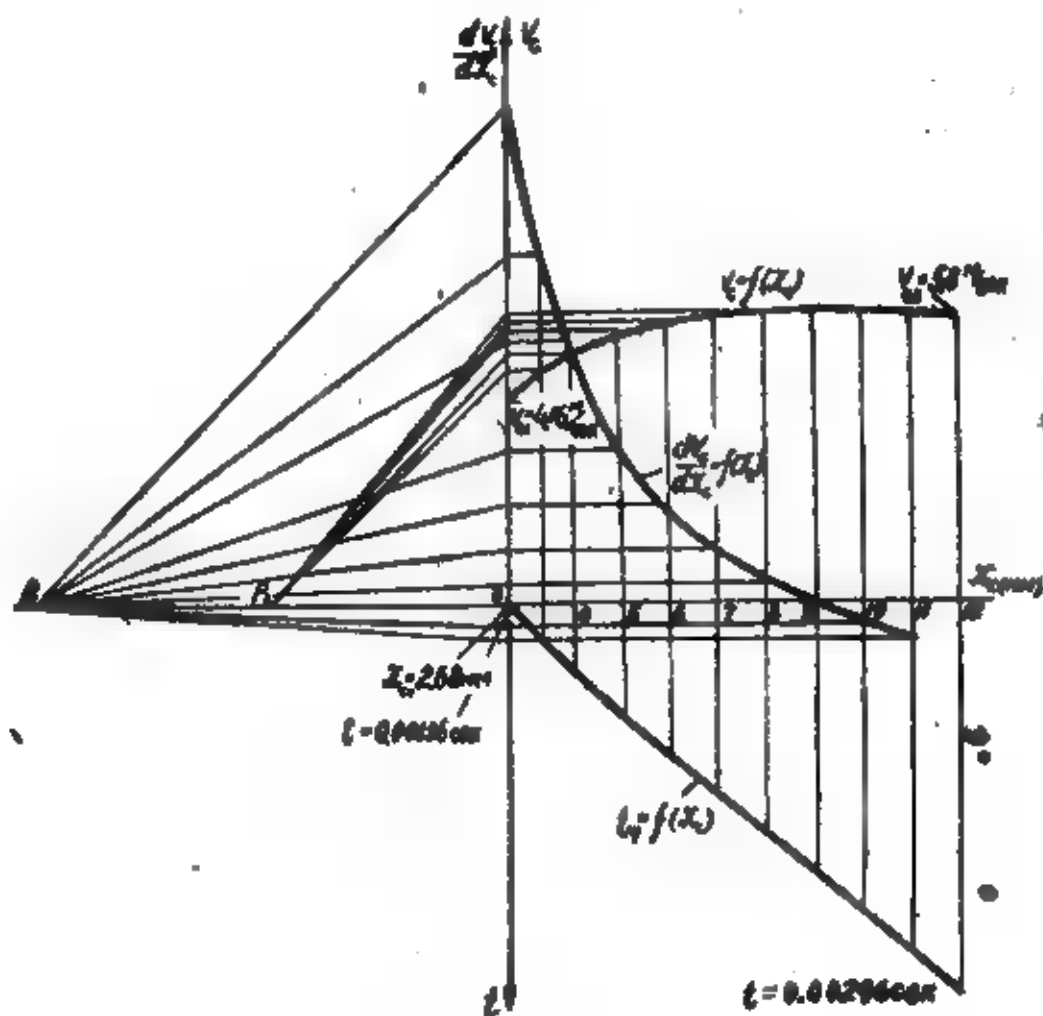


圖124 圖解積分。

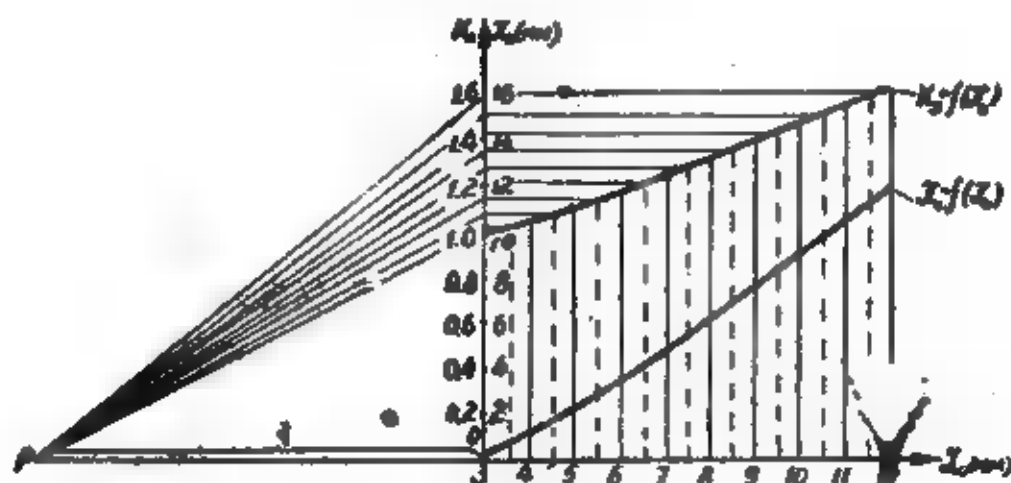


圖125 槍機位移的確定。

$\frac{dM_{np}}{dx_0}$ 值是由对函数 $M_{np} = f(x_0)$ 进行图解微分而得出的 (圖 123)。

方程式的图解积分示于圖 124 中。槍机体加速机构工作結束时, 有下列运动特征数:

槍管坐标	$x_{c2} = 12 \text{ MM.}$
槍管速度	$V_{c2} = 5.8 \text{ M/сек.}$
加速机构工作時間	$t_p = 0.0016 \text{ сек.}$
槍管开始运动的时间	$t = 0.00296 \text{ сек.}$
槍机体速度	$V_{c2} = V_{c1} k_0 = 9.9 \text{ M/сек.}$
槍机体坐标	$x_{c2} = x_{c1} + x_{c1} = 14.7 \text{ MM.}$

加速机构工作时, 槍机的位移利用图解积分 (圖 125) 由表达式 $x_{c1} = \int_{x_{c1}}^{x_{c2}} k_0 dx_0$ 求出。

第 3 段 ($x_0 = 12 \sim 14.2 \text{ MM.}$)

在此运动段上机头产生加速运动。基本构件是槍管, 工作构件是机头。

簡化質量是变化的, 而且是基本构件座标的函数。

槍管在槍管彈作用下运动。在机头上仅作用有約束反作用力。

此期間的运动方程式如下:

$$V_0^2 = \frac{M_0 V_{c2}^2 - 2 \int_{x_{c1}}^{x_0} \Pi_0 dx_0}{M_{np}}, \quad (21)$$

式中

M_0 ——槍管質量 (不包括机头);

$V_{c2}; V_0$ ——在所研究的运动段的起点上的槍管速度和任意瞬間的槍管速度;

$M_{np} = M_0 + M_1 \frac{k_x^2}{\eta_{ep}}$ ——簡化質量;

M_1 ——机头質量;

k_x ——傳速比;

η_{cp} ——效率平均值;

Π_e ——槍管復進簧的阻力。

为了求出机头加速結束时槍管的速度，将公式 (21) 化成下一形式

$$V_{c3} = \frac{M_c V_{c2}^2 - \int_{x_{c2}}^{x_{c3}} (\Pi_{c2} + \Pi_{c3}) dx_c}{M_c + M_x \frac{k_{am}^2}{\eta_{cp}}} = \frac{M_c V_{c2}^2 - (\Pi_{c2} + \Pi_{c3})(x_{c3} - x_{c2})}{M_c + M_x \frac{k_{am}^2}{\eta_{cp}}}, \quad (22)$$

式中

$\Pi_{c2}; \Pi_{c3}$ ——机头加速运动开始和結束时槍管簧內力;

k_{am} ——机头加速結束时的傳速比。

在公式 (22) 中代入下列各值:

$$M_c = 0.19 \text{ кг} \cdot \text{сек}^2 / \text{м};$$

$$\Pi_{c2} = 54.5 \text{ кг};$$

$$x_{c3} - x_{c2} = 2.2 \text{ мм};$$

$$k_{am} = 2.4;$$

$$M_x = 0.0227 \text{ кг} \cdot \text{сек}^2 / \text{м};$$

$$\Pi_{c3} = 63.3 \text{ кг};$$

$$V_{c2} = 5.8 \text{ м/сек}.$$

将这些值代入公式 (22) 中，■得机头加速結束时槍管的速度 $V_{c3} = 4.2 \text{ м/сек}$ 。

同时，机头的速度为

$$V_x = V_{c3} k_{am} = 4.2 \times 2.4 = 10.2 \text{ м/сек}.$$

求机头加速时的位移如同求機体的位移一样，利■解积

分 (圖 126) 根据表达式 $x_2 = \int_{x_{c2}}^{x_{c3}} k_x dx_c$ 求出。

机头加速机构工作时间可以根据平均速度求出

$$t_a = 0.00044 \text{ 秒}。$$

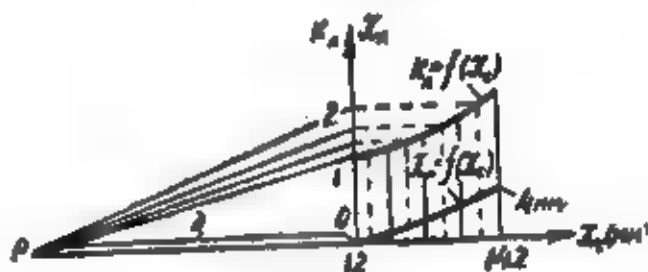


圖126 槍機圖后運動的圖解計算。

第3段結束時有下列運動特征：

$$V_{c3} = 4.2 \text{ 米/秒}； x_{c3} = 14.2 \text{ 毫米}； t = 0.00340 \text{ 秒}；$$

$$V_x = 10.2 \text{ 米/秒}； x_a = 4 \text{ 毫米}。$$

第4段 ($x_0 = 14.2 \sim 21 \text{ 毫米}$)

在此運動段上，槍管復進簧有阻力時，槍管借慣性來運動；復進力作為槍管座標的函數而變化。

運動段結束時的速度可以根據下一公式求出：

$$V_{c4} = \sqrt{V_{c3}^2 - \frac{H_{c3} + H_{c4}}{M_0} (x_{c4} - x_{c3})}。$$

將數值代入這一公式中，則得

$$V_{c4} = 3.5 \text{ 米/秒}。$$

此段上的運動時間根據平均速度求出：

$$t_4 = 0.00175 \text{ 秒}。$$

因而，第4段結束時

$$V_{c4} = 3.5 \text{ 米/秒}； x_{c4} = 21 \text{ 毫米}； t = 0.00515 \text{ 秒}。$$

第4段結束時槍管與套筒突出部發生撞擊。假設，機槍套筒是剛性固定并恢復系數 $b = 0.25$ ，則得撞擊後槍管的速度：

$$V'_{c4} = -bV_{c4} = -0.87 \text{ 米/秒}。$$

第5段 ($x_0 = 20 \sim 0 \text{ 毫米}$)

在此運動段上槍管在其復進力的作用下移動。在槍管運動的最初 9 毫米的路程內槍管的四個彈簧同時工作，而後依次工作。在

该枪管运动段上枪管弹簧内力为枪管座标函数而成直线变化。

弹簧并联工作结束时枪管的速度可以根据下一公式求出：

$$V'_{c5} = \sqrt{V_{c4}^2 + \frac{\Pi_{c4} + \Pi'_{c5}}{M_c} (x'_{c5} - x_{c4})} = -2.84 \text{ м/сек}.$$

第5段结束时枪管的速度

$$V_{c5} = \sqrt{V'_{c5}^2 + \frac{\Pi_{c5} + \Pi'_{c5}}{M_c} (x_{c5} - x'_{c5})} = -2.96 \text{ м/сек}.$$

运动时间根据平均速度求出：

1) 弹簧同时工作时

$$t' = 0.00485 \text{ сек};$$

2) 在整个第5运动段上

$$t_5 = 0.008 \text{ сек}.$$

在第5运动段结束时有下列运动特征量：

$$x_{c5} = 0; V_{c5} = 3.2 \text{ м/сек}; t = 0.0132 \text{ сек}.$$

第6段 ($x_3 = 14.7 \sim 47 \text{ мм}$)

在此段上弹键机构工作。基本构件是枪机体。基本构件(枪机体)的简化质量是其座标的函数(图110)。作用于枪机上的力(复进簧阻力)随其座标成直线变化；作用于工作构件上的力(受弹器撞弹滑板)为一常量。

枪机体在此段上的运动的图解分析研究示于图127中。

在此段结束时 $V_{c6} = 9 \text{ м/сек}$, $x_{c6} = 47 \text{ мм}$, $t = 0.00339 \text{ сек}$ 。

枪机在此段上运动时机头相对于枪机移动。加速后，机头在 $t_7 = 0.00044 \text{ сек}$ 内通过路程 $x_7 = 4 \text{ мм}$ ，而后自由移动，因而，在整个时间内 $t = 0.00339 \text{ сек}$ 机头通过路程

$$x'_7 = x_7 + V_7(t - t_7) = 0.034 \text{ м 或 } x'_7 = 34 \text{ мм},$$

即比枪机体长 1.7 мм 。

实际上机头相对于枪机体可移动 1.5 мм 。因此，机头撞击枪机体是在枪机体自前方位起尚未通过 47 мм 时就发生了。然而，实际上，考虑到准确计算这一撞击时间对于活动部分的运动没有显著影响，我们便认为枪机体相对于机匣在 47 мм 时产生

此撞击。

我們假設，撞击是非彈性的，可得如下的撞击后槍机速度(槍机体和机头)：

$$V'_{00} = \frac{V_{00}M_0 + V_x M_x}{M_0 + M_x} = 9.5 \text{ м/сек},$$

式中 M_0 ——槍机体質量；

M_x ——机头質量；

V_{00} 、 V_x ——撞击前槍机体的速度和机头的速度。

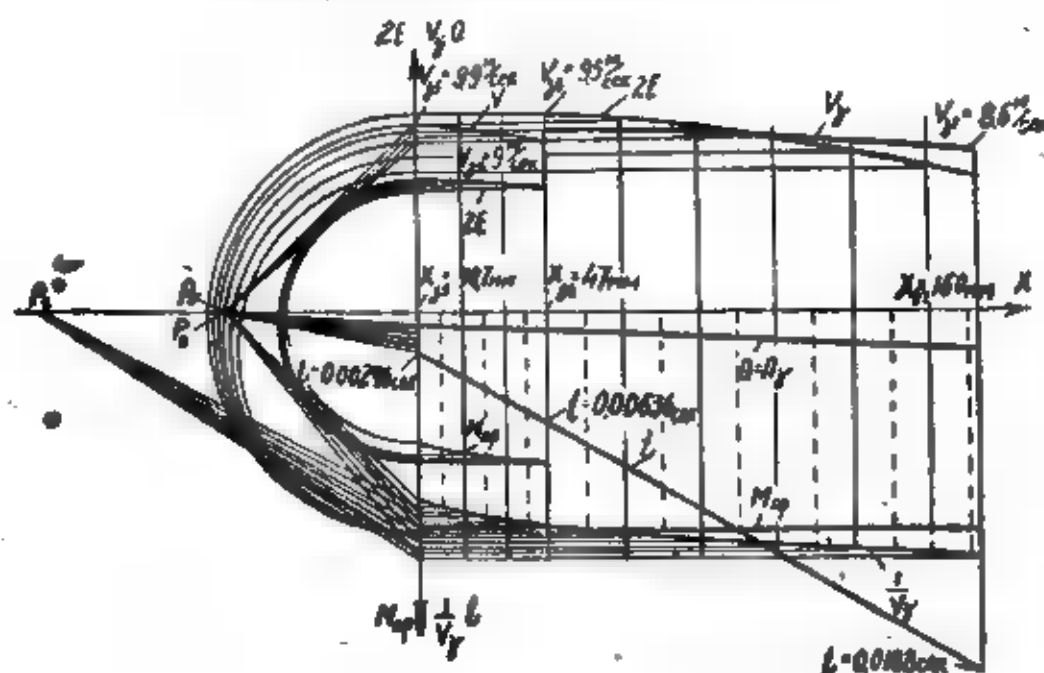


圖127 槍機向前运动的圖解計算。

第6段結束时运动的特征量为：

$$V'_{00} = 9.5 \text{ м/сек}; x_{00} = 47 \text{ мм}; t = 0.00635 \text{ сек}.$$

第7段 ($x_0 = 47 \sim 160 \text{ мм}$)

在此段上槍机在复进簧阻力作用下撞击緩冲前借慣性作用而移动。

阻力是槍机座标的函数成线性变化。槍机体在此段上的运动是利用圖解解析法研究的(圖127)。在此段結束时得出：

$$V_{07} = 8.6 \text{ м/сек}; x_{07} = 160 \text{ мм}; t = 0.0188 \text{ сек}.$$

第8段 ($x_0 = 160 \sim \dots \text{mm}$)

在此段上槍机緩冲裝置工作。在緩冲簧壓縮期間槍机質量不变化。

緩冲簧內力为槍机座标 x_0 之函数而成綫性变化的。緩冲器工作开始前进行抛壳。抛壳是利用安在槍机体上的抛壳挺而实现的。槍机接近緩冲器时抛壳挺的套筒抵在緩冲器上■进行抛壳。此后，槍机体稍許越过机头并撞击緩冲器■套筒。■續运动时在槍机体与緩冲器■套筒之間可能产生数次連續撞击。■外，同时發生机头与槍机体的撞击。这些撞击使緩冲器簧的工作大为复杂。

緩冲器撞击后槍机的速度可以根据下列公式■略■求出：

$$V_{02} = -V_{01} e^{-\frac{\mu}{p} \pi},$$

式中

$$\mu = \frac{6\eta_0^{1.15}}{10^5 M_0^{1.6}};$$

$$p = \sqrt{\frac{\eta_0}{M_0}};$$

M_0 ——槍机体連同与它相連接的部分的質量；

η_0 ——緩冲器■簧■剛度系数。

将数值代入上述公式中，則得

$$V_{02} = -0.59 V_{01} \approx \blacksquare \pi / \text{сек}.$$

进一步計算时采用此速度。假設槍机与緩冲器的撞击相当于彈性体的撞击。将抛壳也包括在此撞击中，便可以求出撞击时速度恢复系数 $b = \left| \frac{V_{02}}{V_{01}} \right| = 0.59$ 。

緩冲器工作時間■■于 $t_0 = 0.0035 \text{ сек}.$

第9段 ($x_0 = 160 \sim 153 \text{ mm}$)

在此段上槍机在复进簧的作用下移动。槍机的質量■一常量 $M_0 = 0.0564 \text{ кг} \cdot \text{сек}^2 / \text{м}$ 。复进簧內力是槍机座标的函数，■綫性变化。根据运动的圖解解析研究（圖 128），在此段上■：

运动段結束时槍机的速度■

$$V_{03} = -5.06 \text{ м/сек}.$$

在此段上的运动時間

$$t_1 = 0.0013 \text{ сек}.$$

■ 运动开始时起的时间

$$t_0 = 0.0236 \text{ сек.}$$

枪机座标

$$x_{00} = 153 \text{ мм.}$$

第 10 段 ($x_0 = 153 \sim 116 \text{ мм}$)

在此段上枪机在复进簧的作用下移动，并同时受由弹链中抽出之枪弹阻力的作用。此力的平均值约为 $6 \sim 10 \text{ кг}$ 。在所研究的运动段开始时枪弹与枪机连接起来。

假设，枪弹与枪机是由于非弹性撞击而连接起来的；那么枪弹连接后枪机的速度等于

$$V'_{00} = V_{00} \frac{M_n}{M_n + M_k},$$

式中

 $M_n = 0.0027 \text{ кг} \cdot \text{сек}^2 / \text{м} \text{——枪弹质量；}$
 $M_k = 0.0564 \text{ кг} \cdot \text{сек}^2 / \text{м} \text{——枪机质量。}$

将数值代入后一公式中，则得

$$V'_{00} = -4.85 \text{ м/сек.}$$

考虑到由弹链中抽弹时产生的阻力的非稳定性，以及此阻力

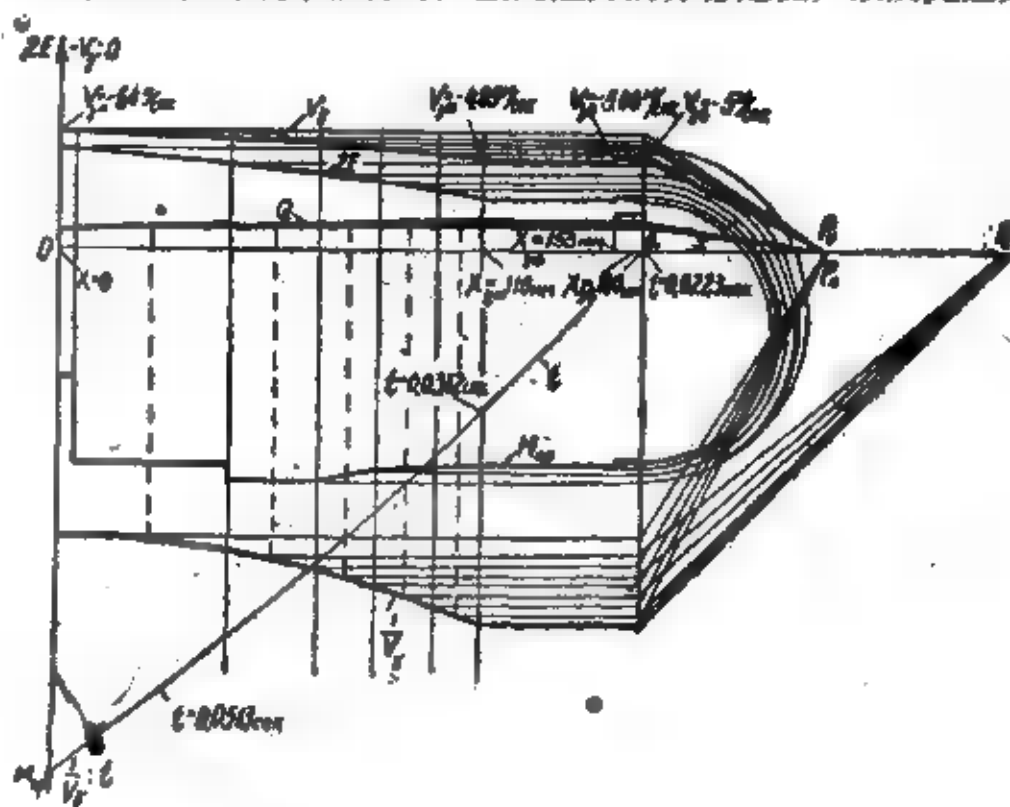


圖 128 $t_k = f(x_0)$ 圖解。

的大小与复进簧力的大小大致相等，因此，我們認為在此段上槍机是自由运动的。在此假設的条件下，第10段結束时槍机的速度等于

$$V_{010} = -4.85 \text{ м/сек.}$$

在此运动段上的运动時間 $t_{10} = 0.0076 \text{ сек.}$

自运动开始时起的时间 $t = 0.0312 \text{ сек.}$

第11段 ($x_0 = 116 \sim 47 \text{ мм}$)

在此段上彈鏈供彈机构工作。槍机簡化質量是槍机座标的函数。簡化力也是槍机座标的函数。

根据此段上的运动的圖解解析研究 (圖 128)，得出：

此段結束时槍机的速度 $V_{011} = -6.1 \text{ м/сек.}$

此段的运动時間 $t_{11} = 0.0126 \text{ сек.}$

自运动开始时起的时间 $t = 0.0438 \text{ сек.}$

第12段 ($x_0 = 47 \sim 5 \text{ мм}$)

在此段上槍机在复进簧的作用下移动。

此段結束时槍机的速度 $V_{012} = 6.36 \text{ м/сек.}$

在此段上的运动時間 $t_{12} = 0.0675 \text{ сек.}$

自运动开始时起的时间 $t = 0.0505 \text{ сек.}$

第13段 ($x_0 = 5 \sim 0 \text{ мм}$)

在此段上槍机进行閉鎖。槍机体簡化質量發生变化。簡化力是槍机座标的函数而成綫性变化。

考虑此段上的簡化質量变化影响很小，因此，我們認為槍机体質量不变而在彈簧作用下运动。

此段結束时槍机体的速度 $V_{013} = 6.4 \text{ м/сек.}$

此段上的运动時間 $t_{13} = 0.0008 \text{ сек.}$

自运动开始时起的时间 $t = 0.0513 \text{ сек.}$

最后的时间代表自动机工作循环時間 t_0 。因而，预期的射击速度是

$$n = \frac{60}{t_0} = 1160 \text{ выстр/мин (發/分).}$$

根据試驗数据求出之 $t_u = 0.051 \text{ 秒}$ 。

7. 緩冲器緩冲时自动机的計算

我們对机槍緩冲的一个可憐的方案进行自动机的計算，計算时应用下列緩冲器彈簧特征数。

緩冲器彈簧預压力 $\Pi_k = 46 \text{ 公斤}$ 。

緩冲器彈簧剛度系数 $\eta_k = 18.4 \text{ 公斤/厘米}$ 。

机槍滑板上的常量摩擦力 $R_k = 3 \text{ 公斤}$ 。

計算时用下列重量諸元

机槍重量..... $Q_0 = 10.3 \text{ 公斤}$ 。

定向滑板重量..... $Q_H = 3.14 \text{ 公斤}$ 。

緩冲器彈簧重量..... $Q_n = 0.18 \text{ 公斤}$ 。

根据这些数据并考虑到緩冲器彈簧質量（槍管和槍机的質量除外），来計算机槍机匣（連同定向滑板）質量。

$$M_k = 1.123 \text{ 公斤} \cdot \text{厘米}^2/\text{米}。$$

我們根据質量和力的圖解上所划分出的运动段来进行計算（圖 121 和 122）。

第 1 段 ($\xi = 0 \sim 2.68 \text{ 厘米}$)

在此段上槍管与機机在膛內的火藥气体压力作用下一同运动并承受彈簧的阻力。

彈丸飞出槍膛之前，在机槍的机匣上作用有三个力：向前的有緩冲器彈簧力，向后的有槍管复进簧和槍机复进簧的内力。因为其中的一个力比其余两个力之和大得多，所以機匣在此期間不發生位移。在火藥气体后效期，机槍机匣上还作用有槍口帽前壁上的火藥气体压力。此力的大小与因槍口帽的影响而作用于膛底上的火藥气体压力大致相等。

因而，在槍机体加速开始之前的时期內机槍机匣不能向后运动，因为所有作用于其上的力的合力的方向都是向前，因此它限制在前方位置。

第2段 ($\xi = 2.68 \sim 12 \text{ mm}$)

在此运动段内枪机体加速机构工作。因此，在第1段内的作用力上还增加一向后作用于机匣上的加速机构反作用力。

为了说明机匣在此期间运动的可能性，可以利用下列方程式：

$$M_0 \ddot{x} + M_c \ddot{\xi} + M_s \ddot{\gamma} = -\Pi_x$$

或

$$M_0 \ddot{x} + (M_c + M_s k_0) \ddot{\xi} + M_s \frac{dk_0}{d\xi} \dot{\xi}^2 = -\Pi_x, \quad (23)$$

式中

M_0 ——整个机枪的质量；

M_c, M_s ——枪管质量和枪机体质量；

x ——机枪机匣的绝对座标；

ξ, γ ——枪管和枪机体的相对座标（对于机匣而言）。

假设，在所讨论的运动段的起点上的所有座标等于零并且机匣的可能位移忽略不计，则可认为，座标 ξ 和 γ 是枪管和枪机体相对座标。

利用图解（图 124）可以求出枪机体加速机构工作时枪管加速度 $\ddot{\xi}$ 和速度 $\dot{\xi}$ 。 $\frac{dk_0}{d\xi}$ 值根据图解 $k_0 = f(x_0)$ （图 85）求出；力 $\Pi_x = 46 \text{ kg}$ 。

将数值代入公式（23）中，可以确信，在枪机体加速机构工作整个时间内机匣的加速度 \ddot{x} 是负的。

这就是说，在此段内，机匣向后运动是不可能的。机匣向前运动也是不可能的，因为定向滑板上的摩擦元件阻碍着它的运动。

第3段 ($\xi = 12 \sim 14.2 \text{ mm}$)

在此运动段内，机头加速机构和弹链供弹机构工作。如前所述，我们仍假设，在此期间膛内的火药气体压力停止了自己的作用。因此，在机枪机匣上作用有下列各力：向前的有缓冲器弹簧的内力 Π_n ；向后的有复进簧的内力（枪管复进簧内力 Π_0 与枪机

复进簧内力 Π_0) 以及机头加速机构和弹链供弹机构的约束反作用力。

表示考虑上述各机构的工作和作用力的机匣、枪管和枪机运动的方程式如下●：

$$\ddot{x} = \frac{\frac{1}{2} \frac{M_0}{M_Y} \frac{dM_Y}{dY} \dot{Y}^2 + \left(\frac{1}{2} \frac{m}{M_\xi} \frac{dM_\xi}{d\xi} - \frac{dm}{d\xi} \right) \dot{\xi}^2 + Q}{M_0 - \frac{M_0^2}{M_Y} - \frac{mm_\eta}{M_\xi}}; \quad (24)$$

$$-\ddot{Y} = \frac{\frac{1}{2} \frac{dM_Y}{dY} \dot{Y}^2 + M_0 \ddot{x} + Q_\Pi}{M_Y}; \quad (25)$$

$$-\ddot{\xi} = \frac{\frac{1}{2} \frac{dM_\xi}{d\xi} \dot{\xi}^2 + m_\eta \ddot{x} + \Pi_0}{M_\xi}; \quad (26)$$

$$Q = \Pi_x - R_x + \Pi_0 \frac{m}{M_\xi} + Q_\Pi \frac{M_0}{M_Y};$$

此时

$$m = M_0 + M_x k_x;$$

$$m_\eta = M_0 + M_x \frac{k_\Pi}{\eta_\Pi};$$

$$Q_\Pi = \Pi_0 - R \frac{k_\Pi}{\eta_\Pi};$$

$$M_Y = M_0 + M_x \frac{k_\Pi^2}{\eta_\Pi};$$

$$M_\xi = M_0 + M_x \frac{k_\Pi^2}{\eta_\Pi};$$

式中

$M_0; M_0; M_0; M_x; M_\Pi$ ——整个机枪、枪管、枪机体、机头和受弹器撞弹滑板的质量；

Π_x ——缓冲器弹簧内力；

R_x ——机枪机匣定向滑板上的摩擦力；

Π_0 ——枪管簧内力；

\blacksquare ——撞机简化力；

x ——机匣座标；

$Y; \xi$ ——枪管和枪机相对于机匣的座标。

● 参看本书上册原文 223 页。

公式 (24, 25, 26) 中所包含的質量的數值列于表中 (單位是 $\text{kg} \cdot \text{cm}^2/\text{s}$)。

M_K	M_0	M_1	M_2	M_3	M_0
1.123	0.191	0.0348	0.0227	0.034	1.35

公式 (24, 25, 26) 中所包含的諸變量列于圖 129 ~ 135 的圖解中。

用圖解解析法 (圖 136, 137, 138) 對微分方程式 (24, 25, 26) 進行積分。

利用這些圖中所示的圖解, 求出機管相對於機槍機匣移動 $\xi = 2.2$ 公厘時的運動特征數如下:

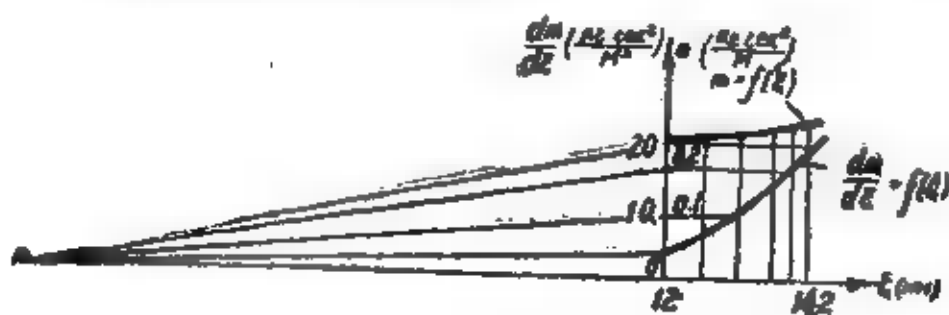


圖129 $m = f(\xi)$ 和 $\frac{dm}{d\xi} = f'(\xi)$ 圖解。

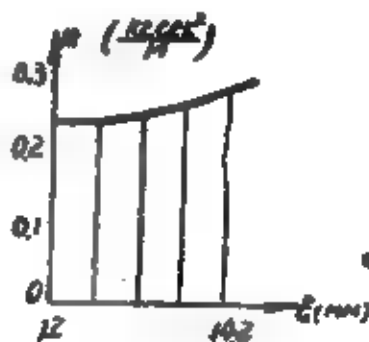


圖130 $m_\xi = f(\xi)$ 圖解。

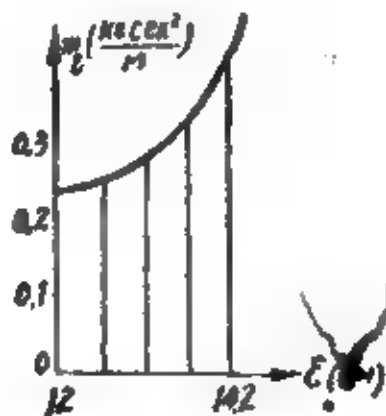


圖131 $m_\eta = f(\xi)$ 圖解。

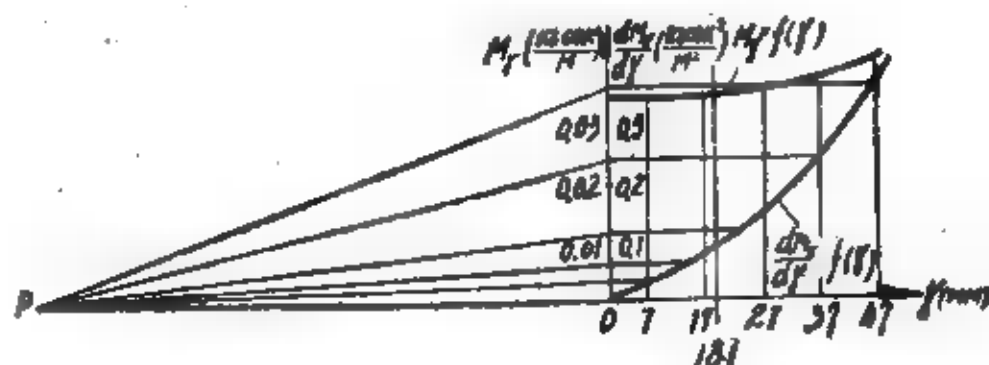


圖132 $M_y = f(\gamma)$ 和 $\frac{dM_y}{d\gamma} = f(\gamma)$ 圖解。

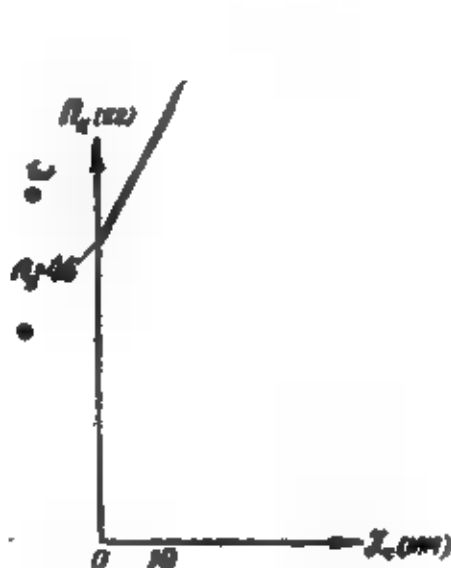


圖133 $P_x = f(x)$ 圖解。

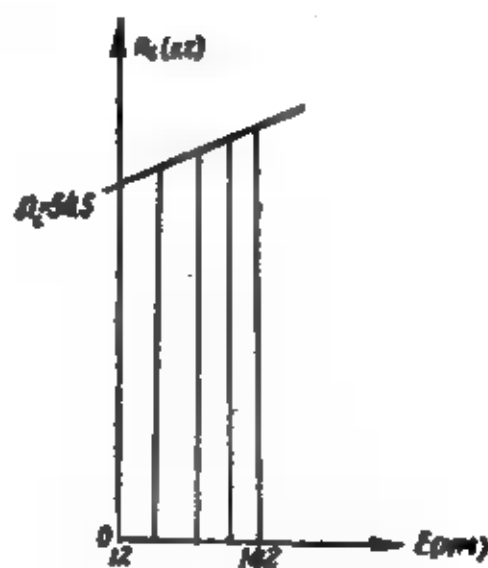


圖134 $P_c = f(\xi)$ 圖解。

$$x = 0.03 \text{ mm}; \quad \dot{x} = 0.18 \text{ m/sec}; \quad \xi = 4.2 \text{ m/sec};$$

$$\gamma = 18.7 \text{ mm}; \quad \dot{\gamma} = 9.6 \text{ m/sec}; \quad t = 0.00042 \text{ sec}.$$

第4段 ($\xi = 14.2 \sim 21 \text{ mm}$)

在此段內彈鏈供彈機構繼續工作。槍機簡化量為一變量。在此期間自由移動。

槍、槍管和機在此段內的運動可用前一段的方程式來表達 (當 $M_x = 0$ 時)。

當 $M_x = 0$ 時，方程式 (24, 25, 26) 化成如下的形式：

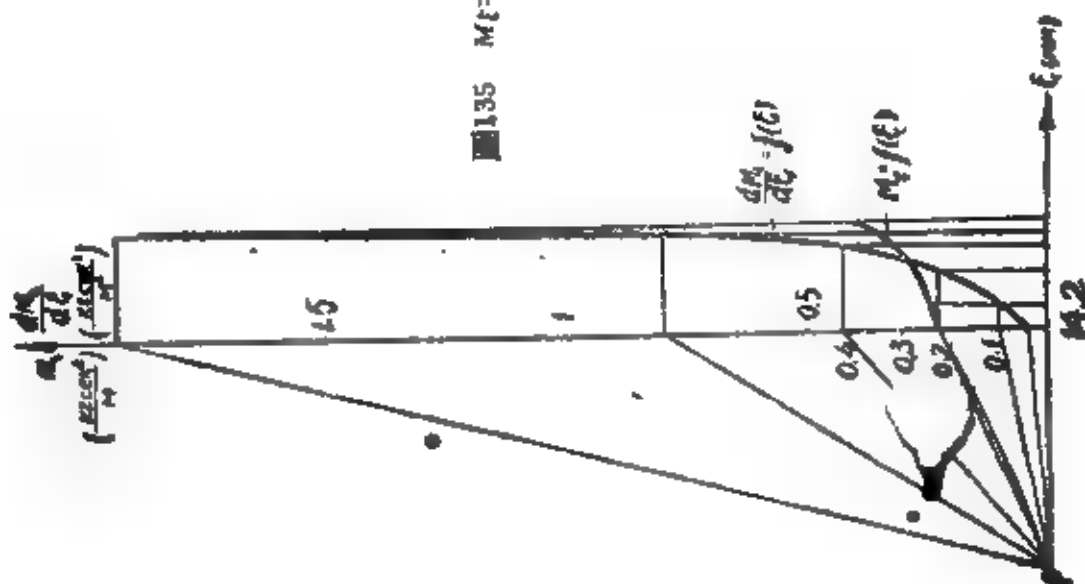


圖135 $M\xi = f(\xi)$ 和 $\frac{dM\xi}{d\xi} = f'(\xi)$ 圖解。

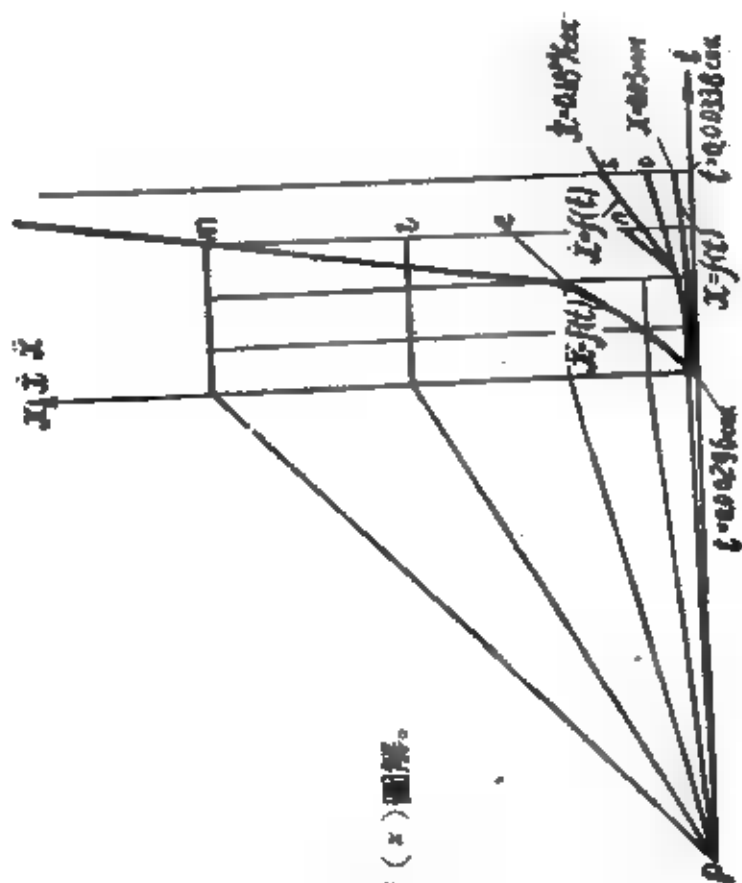


圖136 圖解積分。

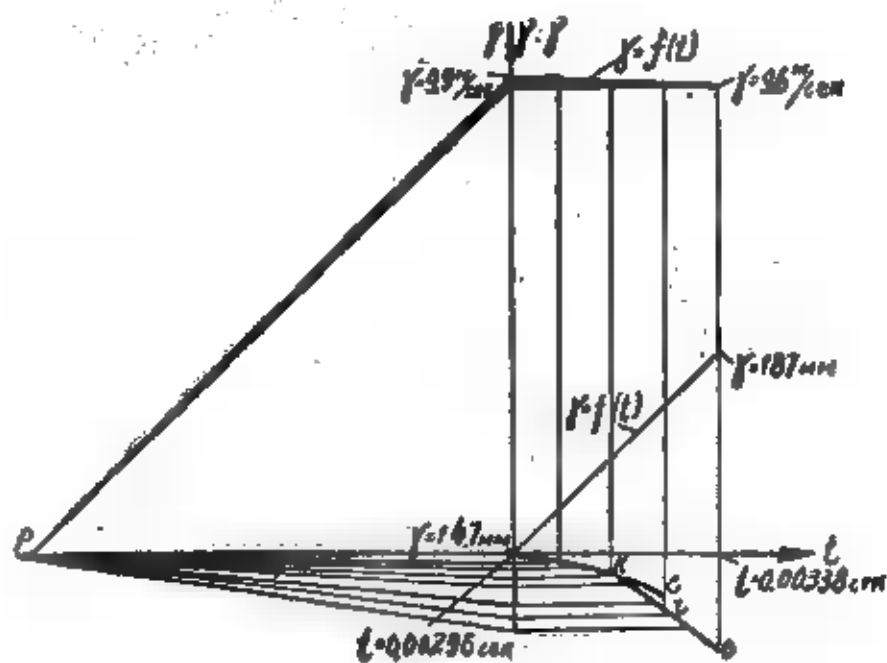


圖137 圖解積分。

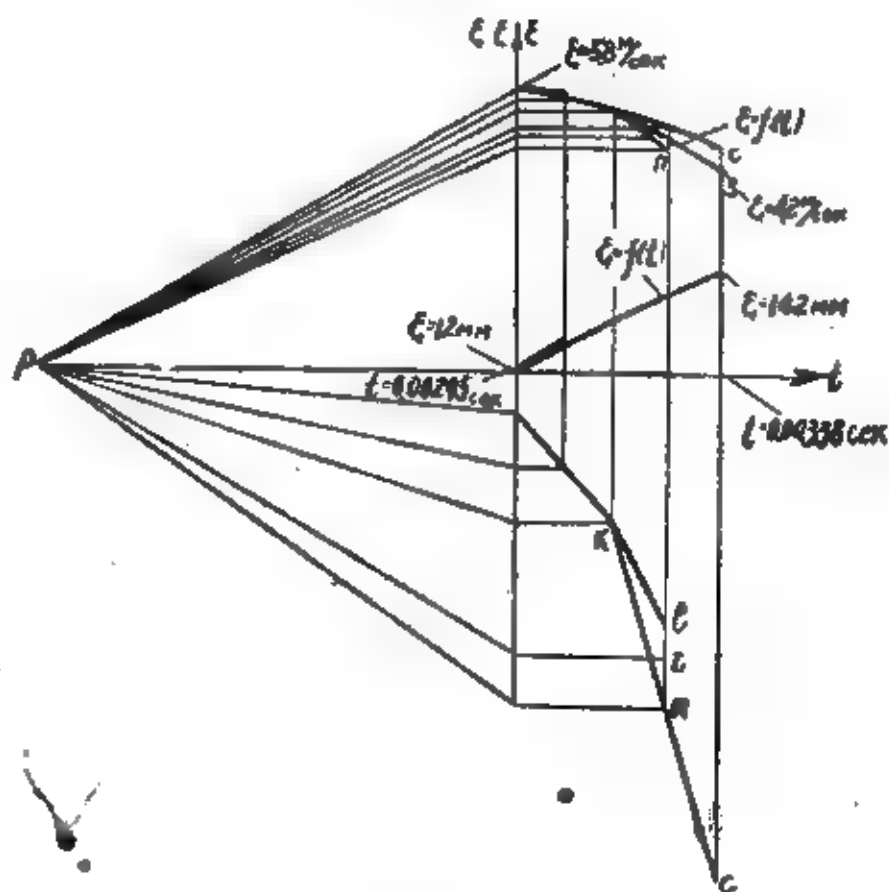


圖138 圖解積分。

$$\ddot{x} = \frac{\frac{1}{2} \frac{M_0}{M_Y} \frac{dM_Y}{dY} \dot{Y}^2 - \Pi_K - R_K + \Pi_C + \frac{M_n}{M_Y} Q_n}{M_0 - \frac{M_n^2}{M_Y} - M_0}; \quad (27)$$

$$-\ddot{Y} = \frac{\frac{1}{2} \frac{dM_Y}{dY} \dot{Y}^2 + M_n \ddot{x} + Q}{M_Y}; \quad (28)$$

$$-\ddot{\xi} = \ddot{x} + \frac{\Pi_C}{M_0}. \quad (29)$$

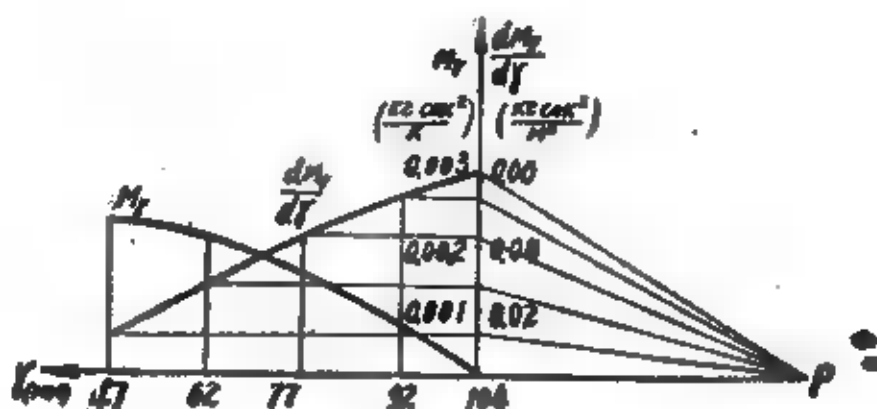


圖139 $M_Y = f(Y)$ 圖解。

$M_Y = f(Y)$ 和 $\frac{dM_Y}{dY} = f(Y)$ 圖解示于圖 132 中。利用近似圖解解析法來解這些方程式 (圖 140, 141, 142)。

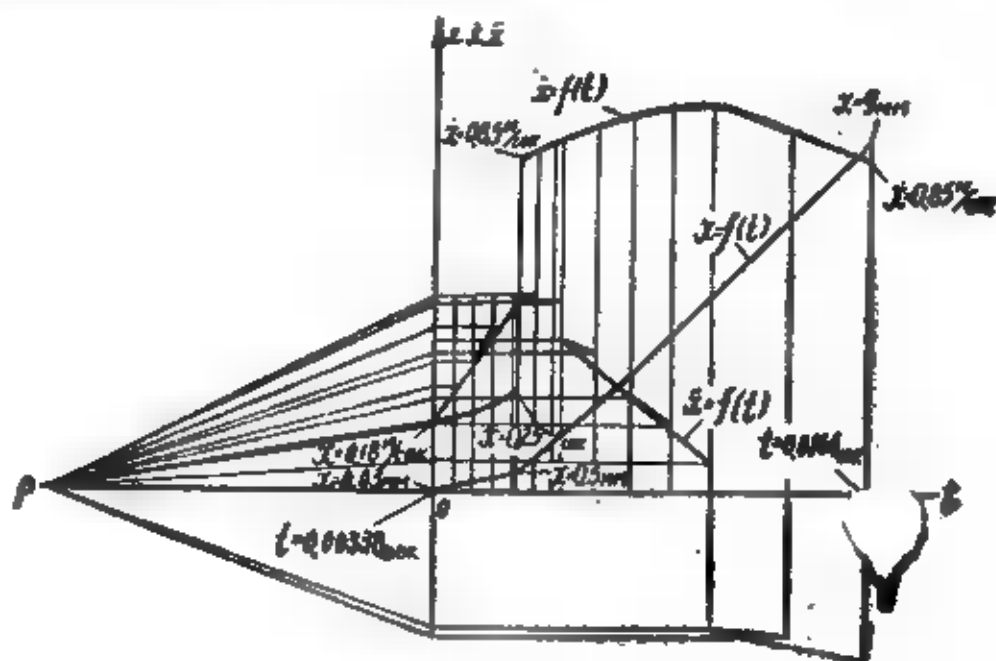


圖140 圖解積分。

式中

M_0 和 M_k ——槍管質量 ($0.191 \text{ кг} \cdot \text{сек}^2/\text{м}$) 和機匣質量 ($1.124 \text{ кг} \cdot \text{сек}^2/\text{м}$) ;

b ——恢復系數。

將數值代入這些公式中，則得

$$V'_0 = 0, \quad V_k = 0.85 \text{ м/сек}.$$

因而，撞擊後

$$\dot{x} = V'_k = 0.85 \text{ м/сек}, \quad \dot{\xi} = V'_0 - \dot{x} = -0.85 \text{ м/сек}.$$

第 5 段 ($\xi = 21 \sim 0 \text{ мм}$)

在此段內，槍管、機匣、槍機在自己的彈簧作用下移動。此段開始時彈鏈供彈機構繼續工作。

這些部件的運動可用方程式 (24, 25, 26) 來表達，供彈機構工作結束後 (當 $M_n = 0$ 和 $k_n = 0$ 時) 這些方程式化成如下的形式：

$$\ddot{x} = \frac{\Pi_0 - \Pi_k - R_0 + Q_0}{M_k}; \quad (30)$$

$$-\ddot{y} = \ddot{x} + \frac{Q_0}{M_0}; \quad (31)$$

$$-\ddot{\xi} = \ddot{x} + \frac{\Pi_0}{M_0}. \quad (32)$$

這些方程式 (圖 140、141、142) 同樣是利用圖解解析法解的。

在此運動段內機頭與槍機體發生撞擊。假設同前一樣，撞擊是在彈鏈供彈機構工作結束時發生的。

撞擊後整個槍機的速度由下一公式求出：

$$V_0 = \frac{V_k M_k + V_{cr} M_{cr}}{M_0} = 9.05 \text{ м/сек},$$

式中

M_{cr} ; M_k ; M_0 ——槍機體、機頭和整個槍機的質量;

V_{cr} ; V_k ; V_0 ——槍機體、機頭和整個槍機的速度。

此段結束時 (當 $\xi = 0$ 時) 有

$$\dot{\xi} = -3.1 \text{ м/сек}; \quad \dot{x} = 0.85 \text{ м/сек};$$

$$\dot{y} = 8 \text{ м/сек}; \quad t = 0.0144 \text{ сек.}$$

到达前方位置时枪管撞击机枪机匣突出部。刚性连接的机匣射击时所记录出的测速图表明枪管在撞击后的跳动不大。因此取恢复系数 $b = 0.1$ 。

撞击后，机匣和枪管的速度依下列公式求出：

$$V'_x = V_x + \frac{(V_0 - V_x)(1+b)}{1 + \frac{M_x}{M_0}};$$

$$V'_0 = V_0 - \frac{(V_0 - V_x)(1+b)}{1 + \frac{M_0}{M_x}};$$

式中 $V_x = \dot{x} = 0.85 \text{ м/сек};$

$$V_0 = \dot{\xi} - \dot{x} = -2.25 \text{ м/сек.}$$

将数值代入这些公式中，则得

$$V'_x = 0.36 \text{ м/сек}, \quad V'_0 = 0.66 \text{ м/сек.}$$

因而，撞击后

$$\dot{x} = V'_x = 0.36 \text{ м/сек}, \quad \dot{\xi} = V'_0 - \dot{x} = 0.3 \text{ м/сек.}$$

其余各段

机枪机匣、枪管和枪机在其余各段内的运动同样用图解解析法（图 143，144，145）并当所讨论的构件仅在弹簧作用下运动时，利用下列方程式来研究：

$$\ddot{x} = \frac{\Pi_0 - \Pi_x \mp R_x + \Pi_0}{M_x};$$

$$-\ddot{y} = \ddot{x} + \frac{\Pi_0}{M_0};$$

$$-\ddot{\xi} = \ddot{x} + \frac{\Pi_0}{M_0};$$

弹链供弹机构工作时间内（ $\gamma = 104.47 \text{ мм}$ ），利用下列方程式来研究：

$$\ddot{x} = \frac{\frac{1}{2} \frac{M_0}{M_\gamma} \frac{dM_\gamma}{d\gamma} \dot{\gamma}^2 - \Pi_x \mp R + \Pi_0 + \frac{M_0}{M_\gamma} Q}{M_0 - \frac{M_0}{M_\gamma} - M_0};$$

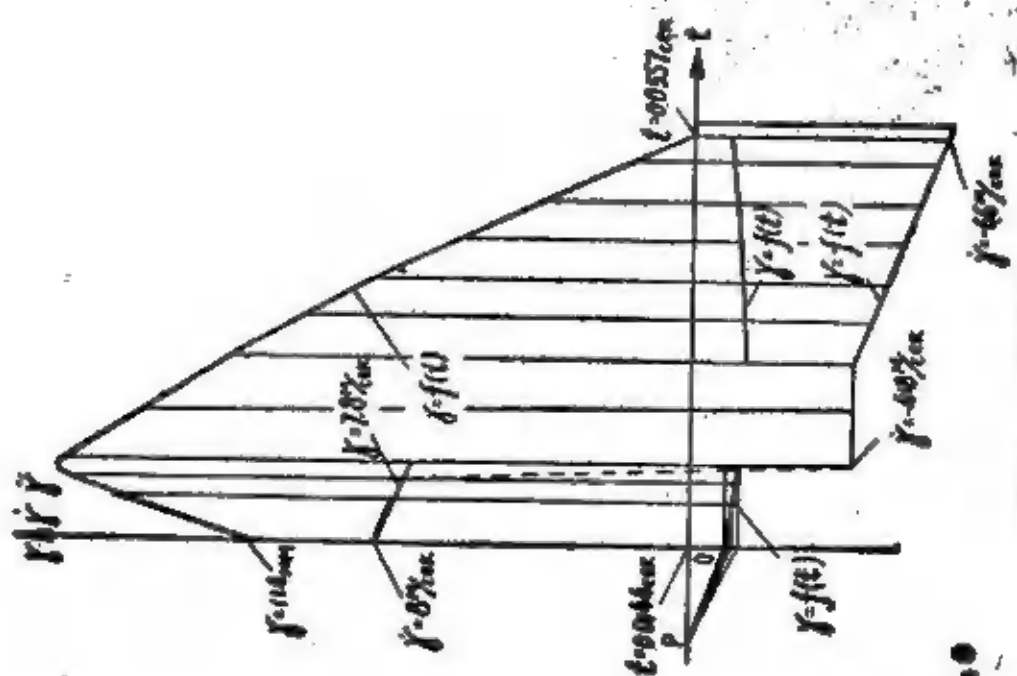


圖143 圖解積分。

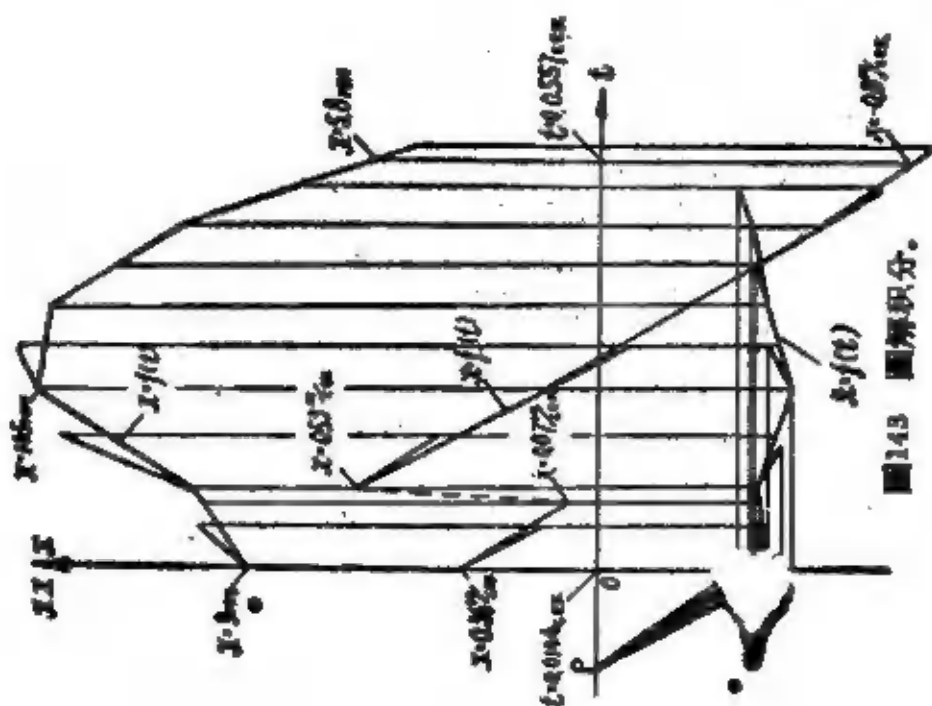


圖144 圖解積分。

$$-\gamma = \frac{\frac{1}{2} \frac{dM_y}{dt} \dot{\gamma}^2 + M_s \ddot{x} + Q}{M_y};$$

$$-\xi = \ddot{x} + \frac{\Pi_0}{M_0}.$$

这些方程式中所包含的 M_y 和 $\frac{dM_y}{dt}$ 值如图 132 的图解所示, 图中 $\frac{dM_y}{dt}$ 是利用图解微分法求出的。

枪机与缓冲器撞击后所有构件的运动特征数可根据下列公式求出 (当 $b = 0.58$ 时):

$$V'_0 = V_0 - \frac{(V_0 - V_K)(1+b)}{1 + \frac{M_0}{M_K}},$$

$$V'_K = V_K + \frac{(V_0 - V_K)(1+b)}{1 + \frac{M_K}{M_0}},$$

式中

$$V_K = \dot{x} = 0.07 \text{ м/сек}; \quad V_0 = \dot{\gamma} + \dot{x} = 7.87 \text{ м/сек};$$

$$M_K = 1.124 \text{ кг·сек}^2/\text{м}; \quad M_0 = 0.0575 \text{ м/сек}.$$

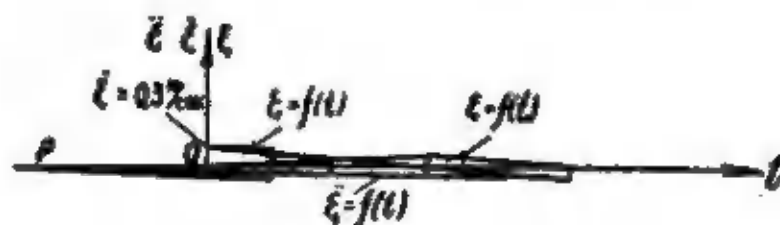


图145 图解积分。

进行计算之后, 则得

$$V'_0 = -3.55 \text{ м/сек}; \quad V'_K = 0.63 \text{ м/сек}.$$

图 146 所示的是计算图解

$$x = f(t); \quad \xi + x = f(t); \quad \gamma + x = f(t).$$

根据计算所求出的自动机工作循环时间为 $t_n = 0.0557 \text{ сек}$ 。

缓冲时所预期的机枪射击速度为:

$$n = \frac{60}{t_n} = 1080 \text{ выстр/мин (发/分)}.$$

根据試驗数据，在类似的缓冲条件下机枪射擊速度为 $n = 1050 \text{ выстр/мин}$ (發/分)。因为試驗数据与計算数据很相似，因此証明，原則上可以作一些小的假設以簡化計算。

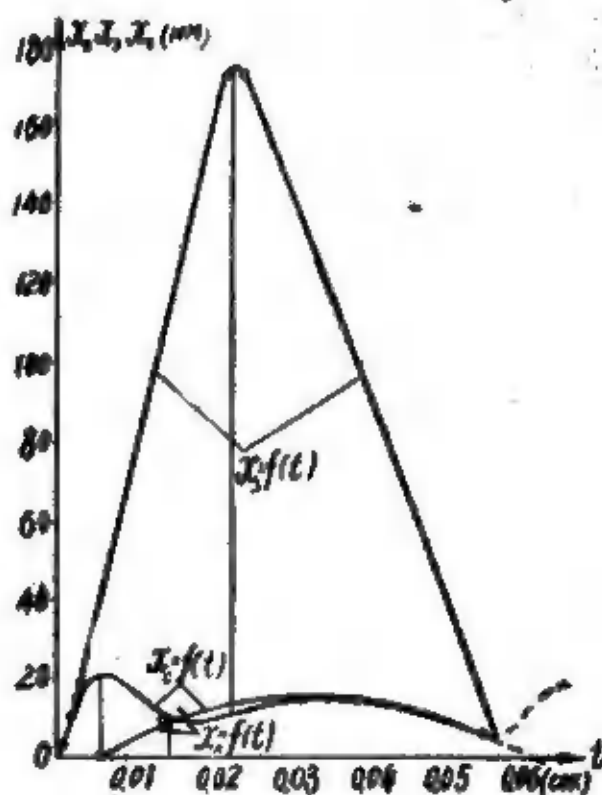


圖146 $x_s = f(t)$, $x_0 = f(t)$, $x_\pi = f(t)$ 圖解。



统一书号
15034·272
定价1.10元